

# エネルギー機器の最適運転計画とモデリング

所 健一

Society 5.0 をはじめ、IoT と AI の組み合わせにより社会の課題解決を目指す取り組みが盛んに行われている。しかし、単純に IoT で集めた膨大なデータを AI で処理すれば、すべての課題を現実的に解決できるわけではない。たとえば、現実のエネルギー機器の運転最適化においては、最適化によるコスト削減額をデータの収集・処理に要するコストが上回ってしまうこともある。こうした課題の解決策の一つに、OR のモデリングの活用が考えられる。本稿では、エネルギー機器の最適運転計画におけるモデリングの活用事例として、ヒートポンプ給湯機の最適運転計画を在庫問題としてモデリングした事例と、長方形詰込み問題としてモデリングした事例の二つを紹介する。

キーワード：ヒートポンプ給湯機、最適運転計画、モデリング、在庫問題、長方形詰込み問題

## 1. はじめに

IOT と AI の組み合わせにより、社会の課題解決を目指す取り組みが盛んに行われている。たとえば IoT を用いて収集した大量のデータを入力として、AI を用いてエネルギー機器を効率良く運転・制御することが検討されている。しかし、IoT を用いて大量のデータを集め、これを AI の入力として処理するだけで、どんな課題も現実的に解決できるわけではない。IoT を用いて大量のデータを集め、これを AI で処理するにはコストがかかる。さらに個々のエネルギー機器をきめ細かく制御するのにも、通信コストが発生する。

一方、実際のエネルギー機器においては、エネルギー機器の運転最適化により削減できるコストには限りがある。たとえば、本稿で検討の対象とするヒートポンプ (HP) 給湯機の給湯コストは、一カ月で千円程度である。運転をいくら最適化しても、一月月に削減できるコストは数百円のオーダーとなる。このためセンサや通信などにコストをかけてエネルギー機器を制御しても、投入したコストが回収できないケースが発生する。

また、実際の運転計画は、不確実な将来の需要や太陽光発電 (PV) の電力などの予測値を基に立案される。このため時間とコストをかけて厳密に最適運転計画を求めても、それに見合った効果が得られないケースもある。厳密に最適運転計画は遊びが少なく、予測誤差に対する頑強性が低いことも多い。現実のエネルギー機器の最適化を行っていくうえでは、運転計画や

制御に要するコスト・時間と、削減されるコストのバランスを考えることが重要である。

こうした実運用で有用な運転計画を立案する方法の一つとして、モデリングの活用が考えられる。本稿ではエネルギー機器の運転計画におけるモデリングの活用事例として、HP 給湯機の運転計画に関する事例を二つ紹介する。HP 給湯機は短時間に大量の湯を生成できないため、事前に給湯需要を賄える量の湯をタンクに貯める。このため、HP 給湯機を稼働して湯を生成するタイミングは、ある程度自由に変更できる。そこで、HP 給湯機を活用し、PV の余剰電力を吸収することが検討されている [1]。

本稿では、HP 給湯機の運転計画にモデリングを活用した一つ目の事例として、PV 電力の活用を考えた、1 台の HP 給湯機を対象とした運転計画を紹介する。この事例では、HP 給湯機の運転計画を最適在庫問題と捉え、タンクの湯がなくなる湯切れを防ぎつつ、PV 余剰電力を吸収するだけの空き容量をタンクに確保する運転計画を求めた。次に 1 棟の集合住宅全体でのエネルギーの効率活用を考えた、この集合住宅に設置された複数台の HP 給湯機の運転計画に関する事例を紹介する。この事例では、運転計画を求める問題を長方形詰込み問題と捉え、集合住宅全体の消費電力量が理想となるパターンと一致するように、複数の HP 給湯機の運転計画を求めた。

## 2. PV 余剰電力活用のための HP 給湯機の運転計画

### 2.1 対象とする問題

PV 電力の活用を考えた HP 給湯機の運転計画を求める方法として、起こりうる給湯／電力需要と PV 電

ところ けんいち

(一財)電力中央研究所 エネルギーイノベーション創発センター

〒240-0196 神奈川県横須賀市長坂 2-6-1  
tokoro@criepi.denken.or.jp

力のシナリオを複数想定し、シナリオ全体での平均コストが最小となるように計画を立案する手法が提案されている [2, 3]. しかし、これらの手法では、PV 電力が十分に活用しきれない課題がある。これらの手法を用いると、給湯需要予測の不確実性を考慮して湯切れを起こさないようするため、余裕をもった量の湯がタンクに維持される計画が求められる。このため PV 電力を活用して生成した湯を貯めることができる、タンクの空き容量が少なくなる。

こうした課題の解決策の一つとして、タンクの貯湯量データを収集し、これに基づき HP 給湯機の運転計画を再計算することが考えられる。しかし、貯湯量データを収集し、これに基づき運転計画を再計算し、HP 給湯機を制御するにはコストがかかる。そこで、1日に1度の計算だけで、PV の電力を効率的に活用する運転計画を求める方法を検討した。

湯切れを生じさせず、PV の電力を最大限に活用するには、予測値のもつ不確実性を考慮したうえで、各時刻の給湯需要と PV 電力に合わせた適切な空き容量をタンクに確保することが重要となる。そして、この各時刻の適切なタンクの空き容量を求める問題は、在庫問題として捉えることができる。そこで、在庫問題の考えに基づく運転計画手法を開発した。開発した手法では、貯湯タンクの各時刻の適正な空き容量を求め、この空き容量が確保されるように HP 給湯機を運転することで、湯切れリスクを抑えつつ PV 電力を活用する。

## 2.2 提案計画手法

提案手法では、翌日の給湯需要、電力需要、PV 電力を予測し、この予測値に基づき翌日の HP 給湯機の運転計画を立案する。

### 2.2.1 需要と PV 電力の予測

従来手法 [2, 3] では、各時刻の給湯需要の分布が指数分布に従うと仮定し、過去の実績データから給湯需要の予測シナリオを生成する。しかし、一般的な家庭では、時刻ごとの給湯需要のばらつきが大きい。たとえば帰宅時間の変化により入浴時間がシフトすると、大量に湯を消費する時間がずれる。このため各時刻の給湯需要が独立に指数分布に従うと仮定する従来手法では、各時刻の需要を多めに予想してしまう傾向がある。

提案する計画手法では、一日の始まり（後述する数値実験では 0 時）から、各時刻までに消費された給湯需要の累積値（累積給湯需要）を予測の対象とする。そして、過去の累積給湯需要の分布がガンマ分布に従うものと仮定し、この分布の統計値（平均値やパーセントイル値）を基に計画を立案する。ある家庭の 20 時

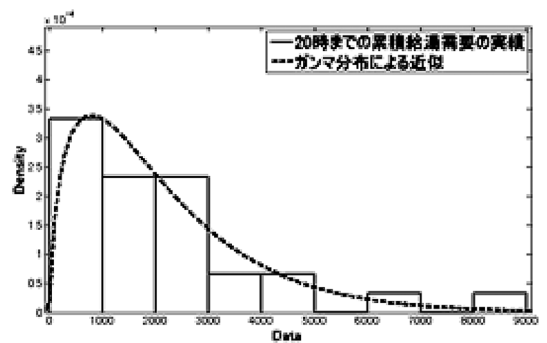


図 1 ガンマ分布による累積給湯需要の近似

までの累積給湯需要の実績値のヒストグラムと、累積給湯需要がガンマ分布に従うと仮定した場合の近似関数をプロットすると図 1 のようになる。累積給湯需要の分布がガンマ分布に近いことが確認できる。電力需要についても給湯需要と同様に、各時刻までの累積電力需要がガンマ分布に従うものと仮定し、このガンマ分布の統計値を基に計画を立案する。

PV 電力については、以下の手順で翌日の各時刻の PV 電力を予測する。

1. 時刻ごと、天気予報（「晴れ」、「曇り」、「雨」）ごとに PV 出力の過去の実績値をグループに分類
2. グループごとに PV 出力の分布が正規分布に従うものと仮定し平均値を算出
3. 翌日の各時刻の天候予報に対応したグループの PV 出力の平均値を予測値として採用

### 2.3 運転計画の策定

提案方法では、予測値（時刻  $t$  までの累積給湯需要と累積電力需要、時刻  $t$  の PV 電力）を基に、翌日の HP 式給湯機の運転計画を立案する。運転計画としては、時刻  $t$  にタンクに最低限確保しておくべき最適な最低湯量  $S_t$  を決定する。

HP 給湯機は計画に基づき、時刻  $t$  のタンク内の湯量が最低湯量  $S_t$  を下回っていた場合には、湯量が  $S_t$  となるまで湯を追加する。湯量が  $S_t$  を上回っていた場合は、何も行わない（図 2）。これにより給湯需要の実績が予測より少なく、計画よりタンクに多くの湯が残っている場合には湯が生成されず、PV 電力を吸収する空き容量が確保される。一方、給湯需要の実績が予測より多く、タンク内の湯量が計画を下回った場合は、予測と実績の差に合わせた量の湯が追加され、タンク内の湯を使い切るリスクが抑えられる。

#### 2.3.1 定式化

提案手法では入力データとして与えられた時刻  $t$  の PV 電力の予測値、時刻  $t$  までの累積電力需要の予測

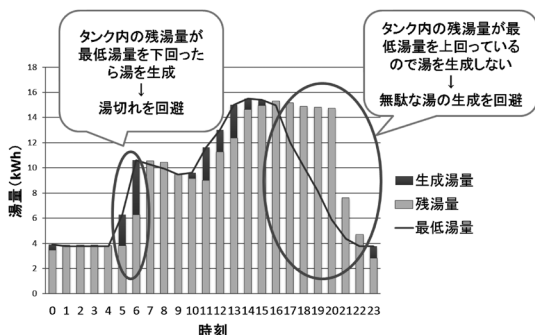


図2 最低湯量に基づく HP 給湯機の運転例

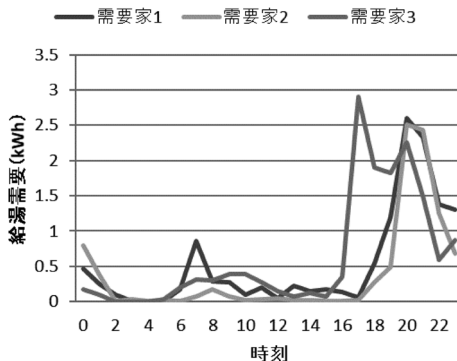


図3 平均給湯需要の時系列変化

値と累積給湯需要の予測値に対して、以下の最適化問題を解くことで時刻  $t$  の最低湯量  $S_t$  を決定する。

最小化 一日の電気代 (1)

制約 タンク容量制約 (2)

出力制約 (3)

湯切れ防止制約 (4)

ここで

**タンク容量制約** HP 給湯機のタンクに蓄える湯量が、タンクの容量以下であることを保証する制約

**出力制約** 単位時間に生成する湯量が、HP 給湯機の出力以下であることを保証する制約

**湯切れ防止制約** 湯切れ防止のため、常にあらかじめ設定された量以上の湯がタンクに蓄えられていることを保証する制約

である。なお、上記の湯切れ防止制約については、現実の HP 給湯機の運転ルールとして採用されているものである。

## 2.4 数値実験

実在する家庭で計測した給湯／電力需要データを用いて、提案手法と従来手法とを比較する数値実験を行った。

### 2.4.1 設定

実在する 3 軒の需要家（需要家 1 から需要家 3）で計測した給湯／電力需要データ [4] を用いて数値実験を行った。数値実験では、各需要家の 4 月の一カ月間の需要データを入力として、5 月の運転計画を求めた。需要家の各時刻の平均給湯需要を図 3 に、各時刻の平均電力需要を図 4 にそれぞれ示す。

提案手法においては、4 月の給湯／電力需要データの 0 時から各時刻までの累積需要を計算し、この値がガンマ分布に従うものと仮定し、その分布の平均値を各時刻の累積給湯／電力需要の予測値とした。また、従来手法については、4 月の各時刻の給湯／電力需要の分布が指数分布に従うと仮定し、この分布から 20 の

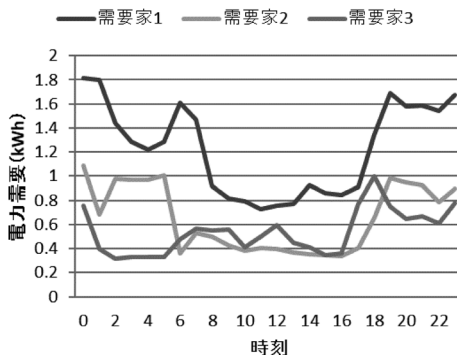


図4 平均電力需要の時系列変化

給湯／電力需要シナリオを生成した。

PV に関しては、各家庭に 3 kW の PV が設置されているものとし、4 月の各時刻、各天気予報ごとの PV 電力の分布から、5 月の各日、各時刻の PV 発電量の予測値を計算した。HP 給湯機に関しては、出力 4.5 kW、タンク容量 370 リットルの HP 給湯機が設置されているものとした。

### 2.4.2 比較結果

提案手法を用いて求めた計画と、従来手法を用いて求めた計画との電気代を比較した（図 5）。

需要家 1 については、すべての日で提案手法による運転計画の方が電気代が安くなった。従来手法と比べた電気代の削減額は日によって異なるが、一日の平均では 30.6 円（最大 42.7 円、最小 9.3 円）、電気代が削減された。また、評価対象とした 23 日間（需要や気象などのデータに欠損のあった 8 日間を評価対象から除外）の合計では 704 円電気代が削減された。

需要家 2 については、予測対象とした 23 日のうちの 4 日間で、従来手法で求めた計画の方が電気代が安くなった。最大では 12.8 円電気代が安くなる日があった。しかし、予測対象とした 23 日全体で見ると、提案

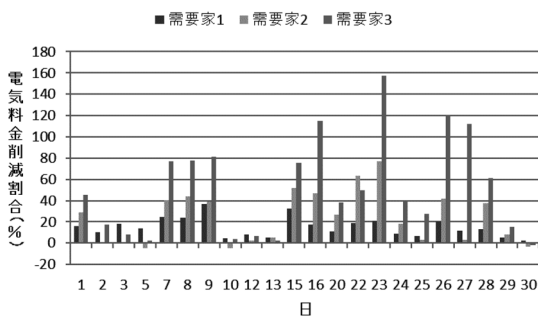


図5 提案手法による電気代の削減効果

手法による計画に従うことで、従来手法と比べ一日の電気代が平均 12.9 円（最大 27.5 円，最小 -12.8 円）削減された。また、評価対象とした 23 日間の合計では 284.3 円電気代が削減された。

需要家 3 では、1 日だけ従来手法で求めた計画の方が電気代が安くなった。しかし、提案手法により求めた計画に従うことで、従来手法と比べ 1 日の電気代が平均 28.8 円（最大 42.8 円，最低 -4.5 円）削減された。また、評価対象とした 23 日間の合計では 634.1 円電気代が削減された。

### 3. 集合住宅全体で見た消費パターン最適化のための HP 給湯機群の運転計画

#### 3.1 対象とする問題

2 節では、1 台の HP 給湯機を対象とした運転計画の事例を紹介した。本節では、複数の HP 給湯機群を対象とした運転計画の事例について紹介する。

ここでは 1 棟の集合住宅を対象に、この集合住宅全体の消費電力量が所望の消費パターンを超過しないよう、各需要家に設置された HP 給湯機を運転する計画を求める問題を考える。なお、2 節とは異なり、本節で検討する計画では明示的に PV 電力の活用は考えない。これは集合住宅では基本的に各需要家に PV が設置されることはなく、屋上などに設置された PV の電力は、共用部などで消費されるのが一般的であるためである。

こうした HP 給湯機群の運転を計画・制御する方法の一つとして、集合住宅全体の電力需要、各需要家の給湯需要、各 HP 給湯機の稼働時間などのデータを収集し、これらのデータを基に所望の需要パターンを超過しないよう、逐次個々の HP 給湯機を制御する方法が考えられる。しかし前述のように、こうした方法には多くのコストを要する。そこで、所望の需要パターンを超過する消費電力量が最小となるような運転計画

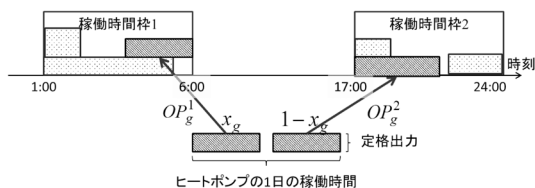


図6 長方形詰込み問題

を求める、費用対効果の高い手法の開発を検討した。

最適な HP 給湯機群の運転計画を求める問題は、長方形詰込み問題として捉えることができる。長方形詰込み問題とは、切出し・詰込み問題 [5, 6] の一種であり、長方形の母材に複数の小さな長方形を詰め込む問題である [7]。HP 給湯機を稼働させる時間枠の長方形（計画の対象とする集合住宅の所望の需要パターンと、HP 給湯機以外の電力需要の差分を基に設定）を母材、各 HP 給湯機の 1 日の消費電力量に相当する複数の小さな長方形（幅は 1 日分の湯を生成するのに必要な稼働時間、高さは HP 給湯機の定格出力に相当）を複数の小さな長方形と考えれば、HP 給湯機群の運転計画問題は長方形詰込み問題として捉えることができる（図 6）。

なお、HP 給湯機の稼働時間は、1 日の中で何回かに分けることが可能である。これは長方形詰込み問題で考えると、HP 給湯機の消費電力量に相当する長方形をいくつかに分割することに相当する。しかし、HP 給湯機は頻繁に起動停止を繰り返すと、起動ロスによりエネルギー効率が悪化する。そこで、ここでは 1 日の HP 給湯機の起動回数を 2 回以下とする制約を設けた。これは長方形詰込み問題で考えると、各需要家の HP 給湯機の稼働時間に相当する小さな長方形の最大分割数を 2 とすることに相当する。

#### 3.2 最適な運転計画パラメータの探索

最適な運転計画パラメータとして、評価対象の期間内において稼働時間枠をはみ出す消費電力量の合計が最小となる、需要家  $i$  が属する需要家グループ  $C_i$ 、HP 給湯機の稼働時間の分割割合  $x_g$  と、起動停止の運転パターン  $OP_g^1, OP_g^2$  との最適値を探索する。

なお、所望の需要パターンからの超過量を最小とするには、需要などの変化に合わせて、運転計画パラメータも日々変更するのがもっとも効果的である。しかし、頻繁に運転計画パラメータを変更したのではコストが高くなる。そこで、ここではたとえば 1 年間など、ある一定期間は一組の運転計画パラメータを使い続けるものとし、一定期間を通して有効な、汎用性の高い運転計画パラメータを探索する。

表 1 運転パターン

	起動時刻	停止時刻
パターン 1	1:00	—
パターン 2	—	6:00
パターン 3	18:00	—
パターン 4	—	24:00

### 3.2.1 需要家のグループへの分類

所望の需要パターンからの超過量を最小化するには、HP 給湯機ごとの運転計画を立案するのがもっとも効果的である。しかし、HP 給湯機ごとの運転計画を立案するのでは計算コストが高くなる。そこで、複数の需要家をいくつかのグループにまとめ、グループ単位で最適な運転計画パラメータを探索することとした。つまり、同一のグループに属する需要家が所有する HP 給湯機は、同一の運転計画パラメータに従って稼働することになる。

### 3.2.2 稼働時間の分割割合

パラメータ  $x_g$  はグループ  $g$  に属する需要家の HP 給湯機の稼働時間の分割割合を表す (図 6)。ここでは分割割合を  $0 \leq x_g \leq 1$  の連続値とはせず、単純化して選択可能な分割割合を 1.0, 0.8, 0.5 の三つに限定した。選択可能な分割割合を限定することで、最適な運転計画パラメータを探索する計算コストが軽減される。さらに、たとえば HP 給湯機本体のディップスイッチで設定を切り替えるなど、運転計画の実現に必要な HP 給湯機の機能追加が最小限に抑えられる。

### 3.2.3 運転パターン

パラメータ  $OP_g^1, OP_g^2$  は、グループ  $g$  に属する需要家に割り当てられる起動停止の運転パターンを表す。従来手法では、運転パターンとして表 1 の 4 種類を想定した。たとえば運転パターン 1 が割り当てられた HP 給湯機は 1:00 になったら起動し、必要となる時間稼働したら停止する。パターン 2 が割り当てられた HP 給湯機は 6:00 の時点で必要な稼働時間が確保されるよう、逆算して起動時間を決定する。

なお、運転パターンの割り当てにあたっては、同一の HP 給湯機の稼働時間が重複してしまうことを避けるため、同一の HP 給湯機の稼働時間には、同一の稼働時間枠の運転パターンを割り当てないこととする。具体的には、たとえば  $OP_g^1$  にパターン 1 を割り当てた場合、 $OP_g^2$  にはパターン 2 以外を割り当てる。また、運転パターンは表 1 の 4 パターンに固定されるものではない。これらの運転パターンは後述する数値実験で使用したものであり、あくまで運転パターンの一例で

ある。運転パターンは、対象とする集合住宅全体の電力需要や、契約する電力会社の料金メニューなどに合わせて適切に設定するものである。

### 3.2.4 昼間時間帯での稼働

上記の運転パターンには、昼間の時間帯に HP 給湯機が稼働するパターンは含まれていない。これは数値実験で用いた料金メニューでは、昼間の時間帯の電気料金が高いためである。ただし、昼間の時間帯にまったく HP 給湯機を稼働させないとすると、給湯需要の多い冬期に必要な稼働時間を確保できない HP 給湯機が出てしまう。しかし、単純に昼間の時間帯に HP 給湯機が稼働する運転パターンを追加したのでは、この時間帯に割り当てられた需要家の電気代が高くなり、不公平感が生じてしまう。

こうした課題の解決方法として、たとえば日ごとに HP 給湯機に割り当てる稼働時間枠をローテーションさせ、不公平が生じないようにする方法も考えられる。しかし、この方法では、HP 給湯機の稼働をローテーションに従い切り替えるための手間とコストがかかる。そこで、昼間の時間帯に稼働する HP 給湯機を必要最低限に抑え、可能な限り需要家の負担額が不公平とならない運転計画を求める拡張を考えた。

ここでは運転パターン 1 が割り当てられた HP 給湯機のみ、長い稼働時間が必要な場合は時間枠を超えて (図 6 の例では 6:00 を超えて) 稼働することを許容することとした。これにより、昼間に HP 給湯機を稼働する必要のある給湯需要の多い需要家の HP 給湯機のみがパターン 1 に割り当てられるようになり、稼働パターンの割り当てに対する電気代の不公平感が生じにくくなる。

### 3.2.5 探索アルゴリズム

提案手法では、需要家  $i$  が属する需要家グループ  $C_i$ 、グループ  $g$  に属する需要家の HP 給湯機の稼働時間の分割割合  $x_g$ 、グループ  $g$  に属する需要家に割り当てられる運転パターン  $OP_g^1, OP_g^2$  の 3 種類の運転計画パラメータの最適値を探索する。最適な運転計画パラメータを探索するアルゴリズムとしては、実用の際に必要なさまざまな制約条件の追加に柔軟に対応可能なメタヒューリスティクスを選択した。特に探索する 3 種類の運転計画パラメータの取り得る値がいずれも離散値となることから、ここでは離散値の探索に適した遺伝的アルゴリズム [8] を用いて、最適な運転計画パラメータを探索した。

## 3.3 数値実験

82 軒の需要家が入居する集合住宅で計測した 186 日

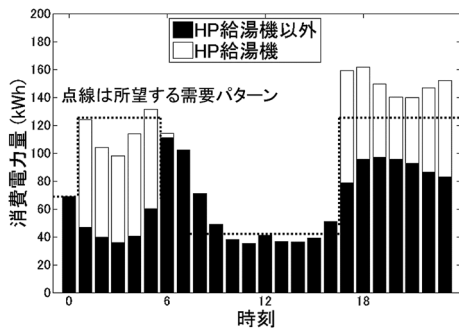


図7 超過量が最大となった日の需要パターン

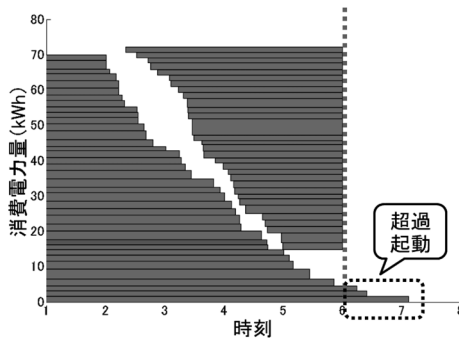


図8 稼働時間枠1でのHP給湯機の稼働状況

分のデータを用いて、HP給湯機群の最適な運転計画を求めた。82軒の需要家を10グループに分類し、最適な運転計画を求めた。評価対象とした186日のうち、冬期の集合住宅全体の電力消費量と各需要家の給湯需要がともに大きい日に、集合住宅全体の消費電力量の所望する需要パターンからの超過量が最大となった(図7)。なお、図7を見ると、時間枠2に割り当てられたHP給湯機の稼働時間を時間枠1にシフトすることで、もう少し超過量を削減できそうに感じる。しかし、前述のように稼働時間の分割割合が3組に限定されること、また運転計画パラメータは評価対象とする186日全体で見た超過量を最小化しているため、単純に時間枠2から時間枠1に稼働時間をシフトしても超過量を削減することはできない。

また、この日の稼働時間枠1でのHP給湯機の稼働状況は図8のようになる。特に長い稼働時間を必要とする需要家のHP給湯機のみが昼間時間帯に稼働していることがわかる。

### 3.4 統計処理データの利用による計算時間の短縮

上記の数値実験では、入力データとして与えられた186日の全データを用いて最適な運転計画パラメータを探索した。しかし、集合住宅全体の消費電力量が所望のパターンを超過するのは数日のみである。このた

め運転計画に大きく影響するデータだけを使って運転計画を求めることで、超過量の値を悪化させることなく、計算時間を大幅に短縮できると期待される。そこで、統計処理を行った少数のデータを用いて運転計画を立案することで、超過量の値を悪化させることなく、計算時間を短縮する検討を行った。

ここでは各需要家のHP給湯機の稼働時間データとして、以下に示す3種類の統計処理データを候補とした。

**年間最大稼働時間** 計測されたHP給湯機の稼働時間の需要家ごとの最大値

**季節ごと平均稼働時間** 計測されたHP給湯機の稼働時間の季節(夏期、中間期、冬期)ごと、需要家ごとの平均値

**季節ごと最大稼働時間** 計測されたHP給湯機の稼働時間の季節(夏期、中間期、冬期)ごと、需要家ごとの最大値

ここで年間最大稼働時間については、需要家ごとに稼働時間が最大となった1日分のデータが与えられる。また、季節ごと最大稼働時間と季節ごと平均稼働時間については、需要家ごとに夏期、中間期、冬期のそれぞれ1日ずつ、3日分のデータが与えられる。

HP給湯機の稼働時間と同様、集合住宅全体での各時刻の消費電力量についても以下に示す3種類の統計処理データを候補とした。

**年間最大消費電力量** 計測された集合住宅全体の時刻ごとの消費電力量の最大値

**季節ごと平均消費電力** 計測された集合住宅全体の季節(夏期、中間期、冬期)ごと、時刻ごとの消費電力量の平均値

**季節ごと最大消費電力** 計測された集合住宅全体の季節(夏期、中間期、冬期)ごと、時刻ごとの消費電力量の最大値

ここでもHP給湯機の稼働時間のデータと同様に、年間最大消費電力は1日分のデータが、季節ごと最大消費電力と季節ごと平均消費電力については3日分のデータが与えられる。

186日分の全データを用いた場合と、統計処理した入力データの候補を用いて最適な運転計画を求めた場合とを比較したところ、計算時間の割合と所望する需要パターンを超過する消費電力量の増加割合は表2のようになった。ここで計算時間の割合とは、186日分の全データを用いて運転計画を立案するのに要した計算時間の何%の計算時間で計画が求められたかを表している。また、超過電力量の増加割合とは、全データ

表 2 全データを用いた場合と比べた計算時間の割合と超過電力量の増加割合

	年間最大消費電力		季節ごと平均消費電力		季節ごと最大消費電力	
	計算時間	超過電力量の増加	計算時間	超過電力量の増加	計算時間	超過電力量の増加
年間最大稼働時間	1.0%	4.5%	—	—	—	—
季節ごと平均稼働時間	—	—	2.1%	0.67%	0.95%	0.0%
季節ごと最大稼働時間	—	—	2.3%	7.7%	1.6%	2.9%

を用いて立案した運転計画と比べ、何%超過する消費電力量が増加したかを表している。

表 2 を見ると、HP 給湯機の稼働時間に関する入力データとして「季節ごと平均稼働時間」を、集合住宅全体での各時刻の消費電力量に関する入力データとして「季節ごと最大消費電力」を用いることで、全データを用いた場合と所望する需要パターンからの超過電力量が変わらない運転パラメータが、1%以下の計算時間で求められている。この理由としては、第一に各需要家の HP 給湯機の稼働時間は日々平均とは異なるが、平均より稼働時間が長い需要家も居れば、短い需要家も居る。このため同一の稼働時間枠が割り当てられた複数の HP 給湯機全体の稼働時間の合計で見れば、各 HP 給湯機の平均稼働時間の合計から大きく外れることは少なく、平均データのみを用いても全データを用いた場合と同程度の運転計画が求められたものと考えられる。

第二に、提案手法で求めた運転計画では、図 8 のように時間枠の中間に HP 給湯機が稼働しない隙間ができる。超過量を最小とするという観点からは、この隙間は無駄に感じられるが、各 HP 給湯機の平均稼働時間と日々の実際の稼働時間との差を吸収するバッファとして機能することで、少数の平均データを用いても全データを用いた場合と同程度の運転計画が求められたものと考えられる。

#### 4. おわりに

本稿ではエネルギー機器の最適運転計画において、

モデリングを活用した二つの事例を紹介した。まずは PV 電力の有効活用を考えた、1 台の HP 給湯機の運転計画を求める問題を、在庫問題として捉えた事例を紹介した。次に集合住宅全体でのエネルギー活用を考えた、複数の HP 給湯機群の運転計画問題を、長方形詰込み問題として捉えた事例を紹介した。いずれの事例においても、モデリングを活用することで、費用対効果に優れた運転計画の立案が可能になった。

#### 参考文献

- [1] 小林広武, 石川忠夫, 浅利真宏, 岡田有功, 上村敏, 八木啓行, 大谷哲夫, “需要地系統の運用制御技術の開発,” 電中研総合報告, R08, 2009.
- [2] 浅利真宏, 所健一, “需要家機器との連携制御を用いた太陽光発電逆潮流抑制方式—予測の不確実性を考慮したヒートポンプ式給湯機の運用計画法—,” 電中研報告, R08025, 2009.
- [3] 浅利真宏, 所健一, “需要家機器との連携制御を用いた太陽光発電逆潮流制御方式の開発 (年間シミュレーションと実証試験),” 電中研報告, R09023, 2010.
- [4] 今村栄一, 池谷知彦, “オール電化住宅における電力・給湯需要構造の調査分析—短時間間隔計測による最大負荷特性の把握—,” 電中研報告, Y08055, 2009.
- [5] 梅谷俊治, 柳浦睦憲, 茨木俊秀, “カッティングストック問題に対する線形計画法に基づく局所探索法の提案,” 数理解析研究所講義録, **1297**, pp. 116–124, 2002.
- [6] 梅谷俊治, “切出し・詰込み問題に対する実用的解法,” 生産と技術, **61**, pp. 56–58, 2009.
- [7] 今堀慎治, 梅谷俊治, “切出し・詰込み問題とその応用—(2) 長方形詰込み問題—,” オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, **50**, pp. 335–340, 2005.
- [8] 相吉英太郎, 安田恵一郎, 『メタヒューリスティクスと応用』, 電気学会, 2007.