

世帯におけるエネルギー消費行動の最適化支援システム

中村 笙子^{1,a)} 廣森 聡仁^{1,b)} 山口 弘純^{1,c)} 東野 輝夫^{1,d)} 山口 容平^{2,e)} 下田 吉之^{2,f)}

概要：各世帯における節電やピークシフトの達成のため、電力の売買や蓄積、生成が可能なスマートホームが導入されつつあり、電力消費を伴う家庭行動を効率化することで、電力コストの削減が期待できる。しかし、居住者の都合を無視し、電力コストを削減するためだけにピークシフトを強いると居住者の生活の質を下げかねない。そのため、電力コストの削減と生活の質の維持を両立できるような節電方法を居住者に提示し、無理のない節電を実現できることが望ましい。本研究では、スマートホーム一世帯を対象とし、そこに居住する人や配置された家電の電力消費モデルを提案する。さらに、このモデルを利用し、人の行動と家電の稼働に対し、電力コストと生活満足度を最適化するような行動スケジューリング手法を提案する。加えて、ユーザの嗜好をより詳細に反映するためのフィードバックシステムと、ユーザが行った操作から、スケジュールに対する要望を汲み取るためのユーザインタフェースも提案する。評価実験では、電力コストを抑え、かつ生活満足度の高いスケジュールを導出した。また、フィードバック操作により、ユーザの意図を反映したスケジュールが導出されることを確認した。

A Support System for Optimizing Daily Activities Consuming Electricity in a Household

SHOKO NAKAMURA^{1,a)} AKIHITO HIROMORI^{1,b)} HIROZUMI YAMAGUCHI^{1,c)} TERUO HIGASHINO^{1,d)}
YOHEI YAMAGUCHI^{2,e)} YOSHIYUKI SHIMODA^{2,f)}

1. はじめに

近年、各世帯における節電やピークシフトの達成が重要視されている状況を受け、電力の購入だけでなく、売却、蓄積、生成が可能である他、消費電力量を可視化する機能や家電等を自動制御する機能を有するスマートホームが導入されつつある。スマートホームでは、これらの機能を利用することで、世帯で使用される電力量を削減するだけ

でなく、ソーラーシステムによる余剰電力を売電することや、電力が安価な時間帯に購入した電力を電気自動車や家庭用バッテリーに蓄積し、ピーク時間帯に売電したり家庭で使用したりすることにより、電力コスト（電力の使用に要する金銭コスト）を削減できる。電力価格は、電力需要状況に応じて設定されることから、買電及び売電を行う時間を最適化し、電力消費を伴う家庭行動を効率化することで、電力コストの大幅な削減が期待できる。しかし、居住者の都合を無視し、電力コストを削減するためだけにピークシフトを強いると生活の質を下げかねないため、電力コストの削減と生活の質の維持を両立できるような節電方法を居住者に提示し、無理のない節電を実現できることが望ましい。

本研究では、スマートホーム一世帯を対象とし、居住者達や家電、電気自動車の利用行動に対する電力消費のモデ

¹ 大阪大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science & Technology, Osaka University,

1-5 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

² 大阪大学 大学院工学研究科エネルギー工学専攻
Graduate School of Engineering, Osaka University,
2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

a) s-nakamr@ist.osaka-u.ac.jp

b) hiromori@ist.osaka-u.ac.jp

c) h-yamagu@ist.osaka-u.ac.jp

d) higashino@ist.osaka-u.ac.jp

e) yohei@see.eng.osaka-u.ac.jp

f) shimoda@see.eng.osaka-u.ac.jp

ルを提案する。さらに、このモデルを利用し、消費電力の電力コストと生活の質に対する満足度（生活満足度）を最適化するような行動スケジューリング手法を提案する。電力コストはグリッド（電力網）に対する電力売買の際、時間帯によって変動する電力価格と売買する電力量とに応じて発生する収支の差である。スマートホームの居住者や家電、電力供給源（バッテリーなど）がどのような行動や動作をいつ実施するかを決定することで、電力需給スケジュールが決定され、電力コストを算出できる。同様に、人や家電の行動を決定することにより、人の行動時間帯や家電の稼働状況等がユーザの生活スタイルにどの程度適しているかを表す生活満足度も算出できる。本研究では、生活満足度として、行動実施の時間性、室内環境の快適性、乗車に関する利便性を考える。これら電力コストと生活満足度のモデルを利用し、人、家電、バッテリー等の各行動を電力の消費、購入、売却、貯蓄と対応付け、電力コストと生活満足度が最適となるよう、行動や動作の実施時間帯と、それに伴う電力需給スケジュールを決定する。提案手法では、電力コストと生活満足度のモデル及び各行動に関わる制約を混合整数線形式で表現し、混合整数線形計画法を用いて、電力コストが最小かつ、生活満足度が最大となるような行動スケジュールを求める。

なお、機械的に最適化して得られるスケジュールは、細部においてユーザの嗜好に完全には適合しない場合もある。例えば、電力コストを削減したいため、電気自動車による移動を控え目にしたい、出勤時間は必ず守りたい、などが考えられる。これに対し、提案手法では、ユーザの嗜好をより詳細に反映するようなフィードバックシステムと、スケジュールに対するユーザの要望を汲み取るためのユーザインタフェースも提案する。フィードバックにおいては、電力コストと生活満足度の優先比率を調整し、再度スケジューリングを行うことで、電力コストが多少増加してもなるべくエアコンを使用して快適に過ごしたい、家電を使用する時間の変動により多少時間的融通が利かなくても電力コストを安く抑えたいなど、ユーザ毎に異なる要望を反映させることができる。また、テレビ視聴などの余暇行動よりも掃除を優先する、洗濯機の稼働後に乾燥機をかける、夕食前に炊飯器を使用するなど、人の行動や家電の稼働に対する時間帯と行動の優先関係についても、個々の行動や稼働の優先関係を重みとして表現し、この値を調整

することでスケジュールに反映可能な仕組みとしている。これらの優先比率や優先関係は、インタフェース上でユーザが行った操作より抽出する。このように、フィードバックによる調整と再スケジューリングを繰り返すことにより、ユーザにとって実用的なスケジュールを導出するシステムを実現する。

実世帯のデータを用いた評価実験により、電力コストを削減し、かつ生活満足度の高いスケジュールを導出できることを示した。また、インタフェース上でのユーザ評価をフィードバックし、ユーザの意図を反映した行動スケジュールが導出されることを確認している。

2. 関連研究

文献 [2] では、温湿度などの環境やバッテリー残量の変化、ユーザの生活履歴等に応じて、家電の稼働優先度を適応的に更新するスケジューリング手法が示されている。この優先度が高い場合は、買電することになったとしても、ただちに家電を稼働させる。優先度が低い場合は、バッテリー残量に応じて家電を稼働するか否かを決定する。ただし、人の生活行動やその満足度に関しては考慮されていない。

文献 [3] では、削減電力量の目標値と現在値を比較し、リアルタイムにユーザに家電の設定調整を促すことにより、ユーザにとって適切なエアコンの温度設定や照明の照度設定の発見を支援する。ただし、生活全体に要する電力量の削減が目的であるため、使用量削減に伴う電力コストの削減は可能であるが、家電の使用を控えることでの電力コスト削減を前提としており、電力消費のピークシフトを併用した場合に比べて生活の質を維持することは難しい。

加えて、文献 [2] や文献 [3] は、ユーザの動的な状況変化に対応するコンテキストウェアなシステムを目指しているため、どの時間にどのような活動をしたいのかといった要求や希望を、ユーザが主体的にシステムに与えることを主眼とし、これらの要望や希望に対する推薦スケジュールを予め提示することによってユーザ生活の改善を目指す本研究とは立場が異なる。

文献 [4] では、エネルギー消費量の系列をクラスタリングし、センサー情報などと対応付けることで、家庭内における行動と電力消費の関係を明らかにしている。しかし、文献 [4] は明らかになった電力消費関係をユーザに提示し、

省エネのための行動改善を促がしているに留まっており、これを用いてどのように行動を改善させるかまでには至っていない。本研究では、文献 [4] のような手法により、行動と電力消費の関係が明らかになっているということを前提にして、ユーザの行動を最適化するシステムを目指している。

3. ユーザの嗜好を反映する行動最適化支援システム

3.1 スマートホームにおけるエネルギー消費行動

スマートホームは、図1のように、人、家電、電力供給源の三つの要素から構成される。人の行動と家電の稼働に伴う電力の消費は、従来の電力購入に加えて、供給源の蓄積電力により賄われる。供給源は、家庭用バッテリー、ソーラーシステム、電気自動車の三種類が備えられており、グリッドから購入した電力および、ソーラーシステムの発電を蓄積できる。また、蓄積電力は、グリッドへ売却でき、送電量に応じた金額を収入として得ることができる。さらに、家電は自動制御機能により統括管理され、設定した時間帯にユーザの操作無しに稼働させる予約実行ができるものとする。

本システムがスケジューリング対象とする生活行動の一覧を表1に示す。本節では、表1に示した人、家電、供給源のそれぞれの要素における生活行動を説明する。

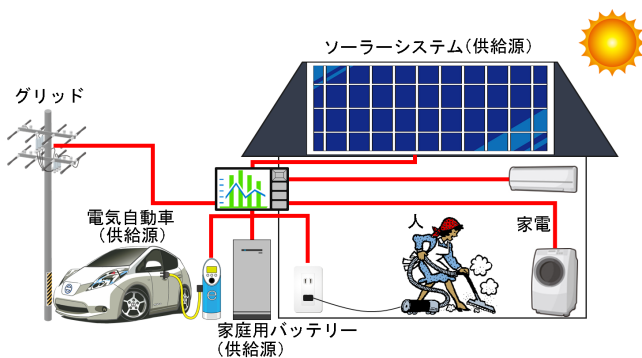


図1 人、家電、供給源の関係

3.1.1 人の行動

人の行動とは、日々の暮らしにおいて繰り返される食事、労働、余暇等の日常生活を指す。提案手法では、ある単位時間（タイムスロット）に人が行う行動は一つのみとする。人の行動は、人が世帯の敷地内で行う**家庭内行動**と敷地外で行う**外出行動**に分類され、さらに消費電力を伴う行動と伴わない行動に分類される。掃除や調理などの行動は、掃

除機やIHクッキングヒーター等電力を消費する機器を用いており、電力消費を伴う家庭内行動に該当する。睡眠、食事など、電力を消費する機器を使用しない行動は、電力消費を伴わない家庭内行動に分類され、行動に紐づく電力消費を算出する必要はない。**外出行動**は家屋を離れ別の場所へ移動する行動であり、会社に行く、買い物に行くなどが該当する。移動手段は電気自動車またはそれ以外（徒歩など）とする。家屋から目的地への移動、目的地での滞在、ならびに目的地から家屋への移動はすべて一つの外出行動として考える。ここでは簡単のため、往路、復路に要する時間は共に1時間として、それ以外は目的地での滞在時間とするが、これはタイムスロットの単位時間を詳細化することで、より細かい単位で考えることも可能である。

3.1.2 家電の稼働

本研究では、一般的に“家電”と称されるもののうち、スマートホームの制御により自動的、独立的に稼働できる、洗濯機、乾燥機、エアコンなどをスケジューリングの対象として扱う。一方で、掃除機のように人の行動なしでは動作不可能なものや、電子レンジのように稼働時間が短く、一つの行動中に複数回の稼働が想定されるものは、人の家庭内行動として扱う。また、冷蔵庫のように常に稼働する家電は提案手法では取り扱わない。

3.1.3 供給源の動作

本研究では供給源として家庭用バッテリー、電気自動車、ソーラーシステムを想定する。供給源の動作とは、供給源ごとの可能な電力の処理（買電、売電、蓄電、発電等）のことを表す。家庭用バッテリーは(1)グリッドからの蓄電(G2B)、(2)ソーラーシステムからの蓄電(S2B)、(3)蓄積電力のグリッドへの売電(B2G)、(4)蓄積電力のスマートホームへの供給(B2H)の4つの動作を行うことができる。電気自動車は、内蔵蓄電池を動力とし、家庭用バッテリーとしても機能する。電気自動車は、(1)グリッドからの蓄電(G2V)、(2)蓄積電力のグリッドへの売電(V2G)、(3)蓄積電力のスマートホーム（または外出行動）への供給(V2VH)の3つの動作が可能である。ソーラーシステムは、太陽光発電により電力を生成するもので、その発電量は時間帯によって変化する。ソーラーシステムは、(1)生成電力のグリッドへの売電(S2G)、(2)生成電力の家庭用バッテリーへの供給(S2B)の2つの動作を行うことができる。

表 1 スマートホームにおけるエネルギー消費行動

生活行動	内容
人の行動 (集合 A)	家庭内行動 (集合 H) 掃除, 調理, 睡眠, 入浴など 外出行動 (集合 O) 仕事, 買い物など
家電の稼働 (集合 E)	洗濯機, 炊飯器, エアコンなど
供給源の動作	家庭用バッテリー G2B, S2B, B2G, B2H 電気自動車 G2V, V2G, V2VH ソーラーシステム S2G, S2B

3.2 本研究で提案するシステム

本システムは、スマートホームの居住者を対象とし、ユーザが予定している生活行動に対し、(1) スケジュールリング、(2) 提示、(3) フィードバックの3つを繰り返すことにより、ユーザの嗜好を反映したスケジュールを導出する。本稿では、人の行動、家電の稼働、供給源の動作はすべて1時間単位のタイムスロットでスケジュールリングを行うが、その時間単位は変更可能である。このとき、電力の購入及び売却から電力コストを、人の行動や家電の稼働状況から生活満足度を算出する。導出したスケジュールはユーザに推薦し、それに対するユーザ評価を得て再スケジュールリングを行うことで、ユーザ評価をシステムにフィードバックする。

これに際し、ユーザはシステムに対して、(1) 予定スケジュールの登録、(2) 推薦スケジュールの確認、(3) 推薦内容に対する評価の入力の3種類の操作を行う。本章では、まず、これらのユーザ操作を受け付けるインターフェースについて説明する。なお、本研究では、ウェブブラウザ上での使用を想定してHTML5並びにJavascriptによるインターフェース実装を行った。

3.2.1 予定スケジュールの登録

本システムでは、ユーザが1週間に予定している行動の名称、行動者とともに、希望開始時間、希望終了時間、所要時間のうちいずれか2つの値を登録してもらう。このとき、希望開始時間と希望終了時間は、「2013/5/1 14:00～15:00」のように範囲指定が可能である。また、電力消費を伴う行動については、予め計測された電力消費量がシステムのデータベースに登録されているものとする。登録された行動内容や重み、フィードバック情報は、1週間経過後、翌週の同一曜日にそのまま持ち越される。したがって、ユーザは1週間の基本的な行動パターンを一旦入力しておけば、毎回登録し直す必要がなく、ある週に固有の行動のみ適宜追加、削除もしくは修正を行うだけでよい。

3.2.2 予定スケジュールと推薦スケジュールの確認

予定スケジュール並びに推薦スケジュールは、行動数を横軸、タイムスロット数を縦軸にとった表に対して、棒グラフの要領で表示される。ユーザは操作ボタンを用いて表の任意の部分を表示させることができる。ユーザインタフェース画面全体とスケジュール表示の例を図2に示す。予定スケジュールは各列の左側、推薦スケジュールは各列の右側に表示されるため、ユーザは自分が入力した時間と、スケジュールリング結果として推薦された時間を比較させて確認することが容易である。また、スケジュール結果として行動が割り当てられているセルに対してマウスオーバーを行うことで、グリッド、家庭用バッテリー、電気自動車バッテリーそれぞれに対する使用電力量の割当状況が表示され、外出行動の場合には、移動手段が表示される。その様子を図3に示す。

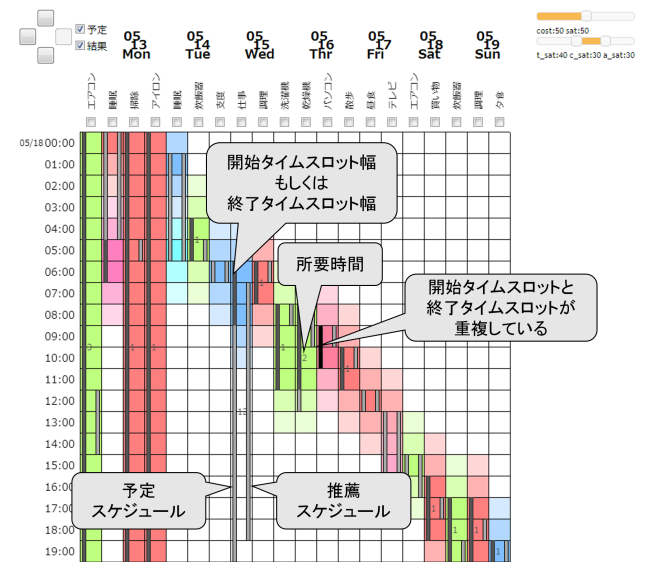


図 2 ユーザインタフェース画面とスケジュール表示例

3.2.3 推薦結果に対する評価の入力

評価を入力するインターフェースは、予定スケジュール、推薦スケジュールの確認と同一の画面で行うことが可能である。これにより、予定していた内容と推薦された内容を

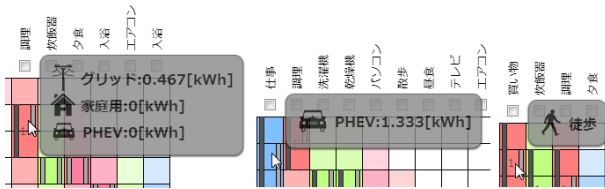


図 3 使用電力量割当状況の表示

逐一比較しながら評価を行うことができるシステムを目指した。ここでは評価の取得方法の説明に留め、得た評価をスケジュールに反映させる手法については、5章にて述べる。

3.2.3.1 重み付け操作

スケジュール確認画面における表では、各セルで設定された重みが色の濃淡で表現される。ユーザは、各セルを1回左クリックすることで重みを1増やすことができ、1回右クリックすることで重みを1減らすことができる。セルの色は行動者ごとに同色系になっている。また、希望開始タイムスロットと希望終了タイムスロットが指定されている行動においては、開始、終了のそれぞれで重み設定を行うため、異なる色の系統を割り当てることにより、1つのセルで開始と終了の2種類の重みを確認することができる。さらにこのとき、左クリック及び右クリックによって開始と終了のどちらの重みを変化させるかを確定するため、クリック時に開始タイムスロットと終了タイムスロットのどちらかを調節するか選択メニューを表示させ、選ばれた方の重みを増減させる。重み調整時の選択メニューと、重みの違いによる色の濃淡の様子を図4に示す。

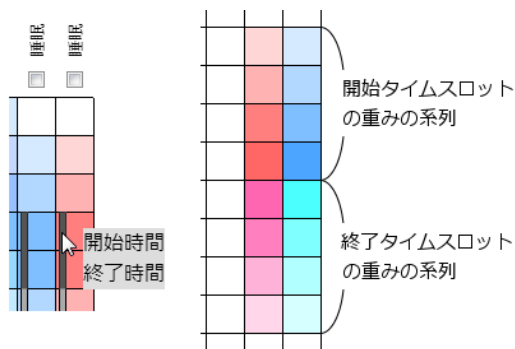


図 4 重み調整時のメニューと色の濃淡の様子

3.2.3.2 各行動に対する可否評価

推薦された各行動のスケジュールに対し、ユーザはチェックボックスを選択することにより、その結果が許容できるか許容できないかを評価する。このとき、チェックボックスを選択した状態が「許容できる」状態を表しており、該当

行動の列にグレーのフィルターをかけ、重みの調整操作を受け付けられない状態とする。可否評価の様子を図5に示す。

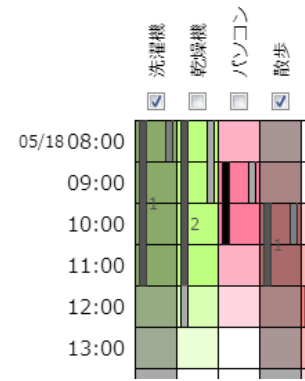


図 5 可否評価の様子

3.2.3.3 電力コスト、生活満足度の優先比率選択

電力コストと生活満足度の比率は、スライダーで確認することができる。また、このスライダーを操作することにより、比率の異なる推薦スケジュールに表示を切り替えることが可能である。ユーザが再スケジュールリングを実行した時点で選択されていた比率を、最もユーザの好みに合う比率として取得し、再スケジュールリング時の3つの比率を算出する。

4. 電力コストと生活満足度のモデル化

本章では、電力コストと生活満足度を算出するために、スマートホームにおける電力の消費、購入、売却、蓄積、生成の観点から、人の行動、家電の稼働、供給源の動作についてモデル化を行う。その上で、スケジュールリング問題の定式化として、混合整数線形計画法問題の入出力、目的関数についても説明する。以降のモデル化に際し、使用変数の一覧を表2に示す。

4.1 人の行動

各タイムスロットにおいて、各人はある一つの行動を取るため、式(1)が成り立つ必要がある。

$$\forall p \in P; \sum_{(p,a) \in A} x_{t,p,a} \leq 1 \quad (1)$$

$tn_{p,a}$, $tb_{p,a}$, $te_{p,a}$ の間には式(2)が成立する必要がある。

$$tn_{p,a} = tb_{p,a} - te_{p,a} + 1 = \sum_{t=0}^n x_{t,p,a} \quad (2)$$

行動に要する消費電力量が供給源から供給される関係は式(3)のように表わされる。

表 2 使用変数の一覧

変数	内容
$t \in T$	タイムスロット ($T = \{0, 1, 2, \dots, n\}$)
$p \in P$	人
$a \in A$	人の行動 (家庭内行動, 外出行動の集合は H, O)
$e \in E$	家電の稼働
s	供給源
f	供給源の動作
$u_{t,p,a,s}, v_{t,e,s}$	供給源が行動, 稼働時に供給する電力量
$C_{p,a}, C_e$	人の行動, 家電の稼働の消費電力
$z_{t,s,f}$	供給源の動作に要する電力量
$bc_{t,B}$	家庭用バッテリーの残量
$bc_{t,V}$	電気自動車のバッテリー残量
$tb_{p,a}, te_{p,a}$	行動の開始, 終了タイムスロット
tb_e, te_e	家電の稼働の開始, 終了タイムスロット
$tn_{p,a}, tn_e$	人の行動, 家電の稼働の実施時間
$x_{t,p,a}$	t において行動を行う場合に 1
$y_{t,e}$	t において稼働を行う場合に 1
$y_{t,e}^{unit}$	t から tn_e スロット分稼働を行う場合に 1
$d_{p,o}$	外出行動の移動距離
$ob_{t,p,o}, oe_{t,p,o}$	往路, 復路で電気自動車を用いた場合に 1
$xb_{t,p,a}, xe_{t,p,a}$	t が開始もしくは終了タイムスロットの場合に 1
e_t^{G2H}, e_t^{H2G}	グリッドからの買電量, 売電量
EP_t	t における電力価格
$w_{t,p,a,i}, w_{t,e,i}$	行動, 稼働の各タイムスロットの重み
W	重みあたりの満足度定数
Per	利便性満足度の増加率
N	フィードバックを行った回数
N_{reject}	行動が許容できないと評価された回数

$$C_{p,a} \cdot x_{t,p,a} = u_{t,p,a,V} + u_{t,p,a,B} + u_{t,p,a,G} \quad (3)$$

電費 EM [kWh] を用いると, t における移動消費電力量 $u_{t,p,o,V}$ は式 (4) で計算できる.

$$\frac{d_{p,o}}{EM} (ob_{t,p,o} + oe_{t,p,o}) = u_{t,p,o,V} \quad (4)$$

4.2 家電の稼働

家電の稼働に必要な消費電力量を供給源が供給することは, 式 (5) で表される.

$$C_e \cdot y_{t,e} = v_{t,e,V} + v_{t,e,B} + v_{t,e,G} \quad (5)$$

冷暖房以外の家電は, 稼働の所要時間が固定であるものとし, 開始タイムスロット, 終了タイムスロットもしくは $y_{t,e}$ を用いて式 (6) で表すことができる.

$$tn_e = te_e - tb_e + 1 = \sum_{t=0}^n y_{t,e} \quad (6)$$

ただし, 冷暖房家電は, 人の行動だけでなく, 外気温などにも影響されることから, 所要時間が必ずしも固定でないと考え, 実行タイムスロットは可変長であるとする.

4.3 供給源の動作

t における家庭用バッテリーの残量は式 (7) で表される.

$$bc_{t+1,B} = bc_{t,B} + z_{t,B,G2B} + z_{t,B,S2B} - z_{t,B,B2G} - z_{t,B,B2H} \quad (7)$$

t の電気自動車のバッテリー残量は以下で表される.

$$bc_{t+1,V} = bc_{t,V} + z_{t,V,G2V} - z_{t,V,V2G} - z_{t,V,V2VH} \quad (8)$$

ソーラーシステムで発電した電力 $z_{t,S,Gain}$ について, 以下が成り立つ.

$$z_{t,S,Gain} = z_{t,S,S2B} + z_{t,S,S2G} \quad (9)$$

人の行動や家電の稼働に伴う消費電力量は, 電気自動車もしくは家庭用バッテリーによって賄われる. これはそれぞれ式 (10), (11) で表される.

$$z_{t,V,V2VH} = \sum_{(p,a) \in A} u_{t,p,a,V} + \sum_{e \in E} v_{t,e,V} \quad (10)$$

$$z_{t,B,B2H} = \sum_{(p,a) \in H} u_{t,p,a,B} + \sum_{e \in E} v_{t,e,B} \quad (11)$$

t においてグリッドから購入する電力量は, 式 (12) のように, 電気自動車を買電した量 $z_{t,V,G2V}$, 家庭用バッテリーを買電した量 $z_{t,B,G2B}$, 人の行動や家電の稼働に際して直接グリッドから買電した量の総和となる.

$$e_t^{G2H} = z_{t,V,G2V} + z_{t,B,G2B} + \sum_{(p,a) \in H} u_{t,p,a,G} + \sum_{e \in E} v_{t,e,G} \quad (12)$$

t でのグリッドへの売電量は, 電気自動車の売電量 $z_{t,B,V2G}$, 家庭用バッテリーの売電量 $z_{t,B,B2G}$, ソーラーシステムの売電量 $z_{t,S,S2G}$ の総和となり, 式 (13) で表される.

$$e_t^{H2G} = z_{t,V,V2G} + z_{t,B,B2G} + z_{t,S,S2G} \quad (13)$$

4.4 電力コスト

本稿では, 東京電力における電力量料金単価 [5] を元に, 時間別電力消費量の差を考慮して新たな電力価格を設定した. タイムスロットを $t \in \{0, 1, 2, \dots, 23\}$, 東京電力で現在設定されている電力価格を $r^{midnight}$ (夜間電力価格), $r^{morning}$ (朝晩電力価格), $r^{daytime}$ (昼間電力価格), 一日の電力消費量の比率として中部電力で算出された指数 [6] を I_t , 指数平均を I_{avg} として, 以下の時間別電力価格 EP_t [円/kWh] を用いる.

$$EP_t = \begin{cases} r^{midnight} \cdot \frac{I_t}{I_{avg}} & (0 \leq t < 7, t = 23) \\ r^{morning} \cdot \frac{I_t}{I_{avg}} & (7 \leq t < 10, 17 \leq t < 23) \\ r^{daytime} \cdot \frac{I_t}{I_{avg}} & (10 \leq t < 17) \end{cases} \quad (14)$$

電力コストは、グリッドに対する電力売買の際、時間帯によって変動する電力価格と売買する電力量量とに応じて発生する金銭的支出であり、買電による支出 $EP_t \cdot e_t^{G2H}$ と売電による収入 $EP_t \cdot e_t^{H2G}$ の差としてモデル化する。これを式 (15) に示す。

$$cost' = \sum_{t=0}^n EP_t \cdot (e_t^{G2H} - e_t^{H2G}) \quad (15)$$

4.5 生活満足度

生活満足度は、人の行動時間帯や家電の使用状況等がユーザの生活スタイルにどの程度適しているかを表す指標である。提案手法では、生活満足度として、行動の時間帯（時間性満足度）、室内環境の快適性（快適性満足度）、車の使用に関する利便性（利便性満足度）を考える。

4.5.1 時間性満足度

時間性満足度は、人の行動並びに家電の稼働が希望通りの時間帯に実施される度合いである。図 6 のように、希望通りの時間帯にスケジュールされた場合に満足度最大とし、希望時間帯より早くなったり遅くなったりするにつれて満足度が低下するようにモデル化する。さらに、行動や稼働には、時間をあまり重視しなくてよいものや、指定時間通りにして欲しいものなど、満足度の高さに差異があると考えられる。そこで、満足度の最大値や、時間の差による満足度の減少度を変更できるようモデル化を行う。

1 スロット以上に及ぶ行動を連続するタイムスロットに割当てては、式 (16) で実現できる。

$$x_{t+1,p,a} = x_{t,p,a} + x_{bt+1,p,a} - x_{et,p,a} \quad (16)$$

$y_{t,e}$ と $y_{t,e}^{unit}$ の関係を式 (17) に示す。また、連続するタイムスロットを一つのスロットとして扱う際の各変数の値を、 $tn_e = 3$ の場合を例として図 7 に示す。

$$y_{t,e} = y_{t,e}^{unit} + y_{t-1,e}^{unit} + y_{t-2,e}^{unit} + \dots + y_{t-tn_e+1,e}^{unit} \quad (17)$$

人の行動に対しては変数 $x_{bt,p,a}$, $x_{et,p,a}$, 家電の稼働に

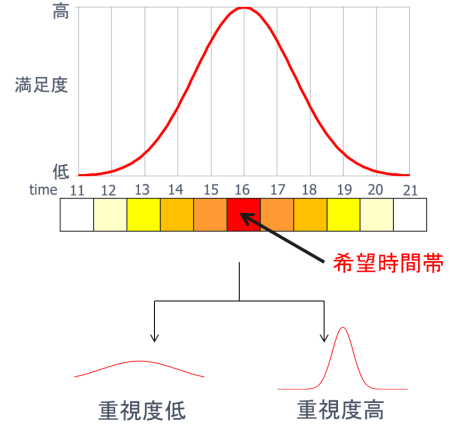


図 6 時間性満足度のモデル

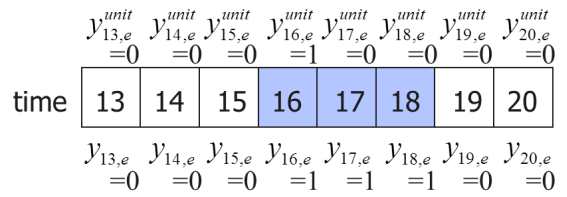


図 7 連続タイムスロット取り扱いの例

対しては、稼働時間が 1 時間である場合は $y_{t,e}$, 2 時間以上である場合は $y_{t,e}^{unit}$ を用いて、時間性満足度を式 (18) のように定める。

$$\begin{aligned} tsat_{p,a} &= (x_{bt,p,a} \cdot w_{t,p,a,begin} + x_{et,p,a} \cdot w_{t,p,a,end}) \cdot W \\ tsat_e &= (y_{t,e} \cdot w_{t,e,begin} + y_{t,e} \cdot w_{t,e,end}) \cdot W \\ &= (y_{t,e}^{unit} \cdot w_{t,e,begin} + y_{t+tn_e,e}^{unit} \cdot w_{t,e,end}) \cdot W \end{aligned} \quad (18)$$

時間性満足度は人の行動と家電の稼働すべてに関して個別に算出し、この総和を世帯の時間性満足度とする。世帯の時間性満足度は、式 (19) で求められる。

$$tsat' = \sum_{(p,a) \in A} tsat_{p,a} + \sum_{e \in E} tsat_e \quad (19)$$

4.5.2 快適性満足度

快適性満足度は、家屋内の環境に対する過ごしやすさを測る指標で、本研究では、1957年に米国で考案された不快指数 $DI(Td, H) = 0.81Td + 0.01H(0.99Td - 14.3) + 46.3$ を用いて、乾球温度 Td , 湿度 H より評価する。不快指数と体感の関係を表 3 に示す。

表 3 を参考に、快いとされる不快指数値 65~70 においては高く、暑いおよび寒いとされる不快指数値においては低くなるよう快適性満足度をモデル化する。そこで、不快指数 70 を基準値 0 とし、体感が悪化するにしたがって満

表 3 不快指数と体感の関係

不快指数	体感
～55	寒い
55～60	肌寒い
60～65	何も感じない
65～70	快い
70～75	暑くない
75～80	やや暑い
80～85	暑くて汗が出る
85～	暑くてたまらない

足度が低下するよう、式 (20)、式 (21) で快適性満足度を算出する。

$$f_1(Td, H) = \frac{100}{basis} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{f_2(Td, H)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (20)$$

$$f_2(Td, H) = DI(Td, H) \div 5 - 14 \quad (21)$$

式 (20) では、 $basis = \frac{1}{\sqrt{2\pi(1.0)^2}} \exp\left(-\frac{0^2}{2(1.0)^2}\right)$ としている。これは、不快指数 70 を基準として、体感が 3 段階悪化した場合、つまり、“暑くて汗が出る” もしくは“寒い” と体感した場合に満足度がほぼ 0 になることを表す。また、式 (20)、(21) で定義した快適性満足度と不快指数による体感との関係を図 8 に示す。

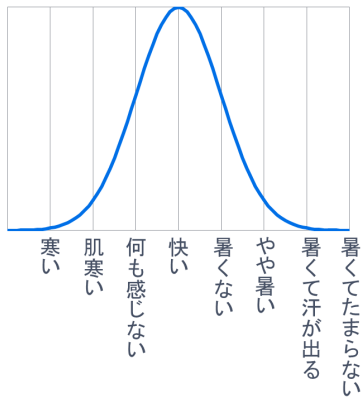


図 8 快適性満足度

各タイムスロットにおける快適性満足度は、式 (22) で算出することができる。

$$csat_t = \begin{cases} 100 & (o_t^{All} = 1) \\ f_1(Td_{hope}, H_{hope}) & (y_{t,Air} = 1) \\ f_1(Td_t, H_t) & (otherwise) \end{cases} \quad (22)$$

人が全員外出しており家屋内に誰も居ない場合は、快適性満足度を最高値 100 とする。人が家屋内に残っており、冷暖房家電が稼働している場合には、タイムスロット t における室内の温度と湿度は、それぞれ冷暖房家電に対する設

定温度 Td_{hope} と設定湿度 H_{hope} に固定され、これらの値を元に、式 (20) により算出される。冷暖房家電が稼働していない場合、室内の温度と湿度は、それぞれタイムスロット t における観測値 Td_t, H_t となり、式 (20) により算出される。また、式 (22) を線形式に変換すると式 (23) のように表すことができる。このとき、 $f_1(Td_{hope}, H_{hope})$ 及び $f_1(Td_t, H_t)$ は予め算出しておく。

$$csat_t = 100 \cdot o_t^{All} + f_1(Td_{hope}, H_{hope}) \cdot y_{t,Air} + f_1(Td_t, H_t) \cdot (1 - o_t^{All} - y_{t,Air}) \quad (23)$$

最適化指標となる世帯の快適性満足度は、各タイムスロットにおける満足度の総和であり、式 (24) で算出できる。

$$csat' = \sum_{t=0}^n csat_t \quad (24)$$

4.5.3 利便性満足度

利便性満足度は、外出行動における移動の負担を考慮しており、移動手段として電気自動車を用いた場合は満足度が高く、用いない場合は満足度が低いとしてモデル化する。本研究では、入力された行動のうち、最も移動距離が大きい外出行動で電気自動車を用いた場合の満足度を基準とし、式 (25) で定義する。

$$asat_{p,o} = \frac{d_{p,o}}{d_{max}} \cdot 100 \cdot fb \quad (25)$$

fb は式 (26) で定める。

$$fb = \begin{cases} 1 & (\text{初回で許容できる場合}) \\ Per \cdot N_{reject} & (\text{許容できない場合}) \end{cases} \quad (26)$$

利便性満足度は外出行動各々に対し電気自動車を用いるか否かを決定し、それに伴い算出されるため、世帯の利便性満足度は、式 (27) のように表される。

$$asat' = \sum_{(p,o) \in O} asat_{p,o} \quad (27)$$

4.6 入出力

混合整数線形計画問題の入力として、ユーザはスケジュールリング期間に実施する人の行動と家電の稼働すべてに対し、希望時間帯を与える。ただし、個々の人の行動や家電の稼働に要する消費電力量、外出の移動距離は既に得られているものとする。また、冷暖房家電の温湿度設定、人の行動や家電の稼働の実行順序制限、並びに朝、昼、夜、深夜など各時間帯における買電量制限を設定することができ

る。混合整数線形計画問題では、これらの入力を基に、人の行動と家電の稼働各々の実施時間帯、供給源の時間帯ごとの動作とそれに伴う電力量、行動や稼働に要する消費電力量を電気自動車、家庭用バッテリー並びにグリッドにどのように割当てるか、外出行動ごとに電気自動車を使用するか否かを決定する。

4.7 目的関数

電力コストと生活満足度の各項目 (15), (19), (24), (27) は、それぞれの項目のみを最大化、最小化した値を基準として、0 から 100 までの値を取りうる指数値に変換する。このときの最大値と最小値も、予め混合整数線形計画問題を解くことによって得るものとする。

$$cost = \frac{\text{maximize}(cost') - cost}{\text{maximize}(cost') - \text{minimize}(cost')} \quad (28)$$

$$tsat = \frac{tsat' - \text{minimize}(tsat')}{\text{maximize}(tsat') - \text{minimize}(tsat')} \quad (29)$$

$$csat = \frac{csat' - \text{minimize}(csat')}{\text{maximize}(csat') - \text{minimize}(csat')} \quad (30)$$

$$asat = \frac{asat' - \text{minimize}(asat')}{\text{maximize}(asat') - \text{minimize}(asat')} \quad (31)$$

式 (28), (29), (30), (31) より、電力コストは最小化、生活満足度は最大化した場合に 100 となる。本研究は電力コストと生活満足度の両立を目的とするため、式 (32) を目的関数と定める。

$$\text{maximize} : w_{cost} \cdot cost + w_{sat} \cdot sat \quad (32)$$

$$sat = w_{tsat} \cdot tsat + w_{csat} \cdot csat + w_{asat} \cdot asat \quad (33)$$

ここで、 w_{cost} , w_{sat} , w_{tsat} , w_{csat} , w_{asat} は順に電力コスト、生活満足度、時間性満足度、快適性満足度、利便性満足度の重みであり、 $w_{cost} + w_{sat} = 1$, $w_{tsat} + w_{csat} + w_{asat} = 1$ とする。フィードバックの際にこれら重みを調節することで、ユーザの希望に沿ったスケジューリングを可能とする。また、式 (33) に示される通り、生活満足度 sat は、時間性満足度 $tsat$ 、快適性満足度 $csat$ 、利便性満足度 $asat$ の重み付け和で算出される。

4.8 制約式

混合整数線形計画問題として定式化した際の、モデル化による定義以外の制約式については、本論文では割愛する。詳しくは文献 [1] を参照されたい。

5. ユーザ意図の反映手法

本章では、スケジュールに対するユーザの意図の抽出方法と、スケジュールへの反映方法について述べる。

5.1 行動時間並びに優先順序に対する重み付け

行動や稼働の実施すべき時間帯や行動間の優先順序関係は、各行動ないし稼働、各タイムスロットごとに設定した重みにより決定されるものとする。本システムでは、希望開始タイムスロットと希望終了タイムスロットに対して重み付けを行い、その重みによって行動の実施時間帯を定める。重みの総和には上限値、下限値を設定し、ユーザはこの範囲において各スロットの重みを 1 ずつ増減させることで、自由に重みを割り振ることができる。

5.2 推薦結果に対するユーザの可否

フィードバックに際し、予定している行動や稼働を希望開始時間順にソートする。その順番を h で表し、番号が若いものほど希望開始時間が早いものとする。行動ないし稼働の希望開始タイムスロット tb_h^{in} 、希望終了タイムスロット te_h^{in} で指定された範囲をそれぞれ $b_{h,begin} \leq tb_h^{in} \leq e_{h,begin}$, $b_{h,end} \leq te_h^{in} \leq e_{h,end}$ とする。

決定されたスケジュール中の各行動に対し、ユーザは結果が許容できるかできないかの評価を返す。結果が許容できる行動についてはスケジュールを固定し、許容できない行動については本システムが自動で重みや満足度を調節し、再スケジューリングを行う。ここで、許容できないと評価された行動について、希望タイムスロットが単一に指定された場合と、希望タイムスロットが範囲指定された場合が考えられる。前者におけるユーザの要望として、指定されたタイムスロットに行動を実施したいということが考えられる一方、後者では、結果が希望タイムスロットの範囲外である可能性に加え、結果が希望の範囲内ではあるが納得がいかなかった可能性もある。そこで、可否評価を得た際にはこの 2 種類の場合に分け、それぞれで異なる重み調整を行うことにより、ユーザの意図を詳細に抽出する。

5.2.1 希望タイムスロットが単一指定の場合

この場合、指定されたタイムスロット $w_{t,h,i}$ に重み集中させることで、ユーザの希望を反映できると考えられる。そこで、指定タイムスロットの前後の重みを減らし、その分を指定タイムスロットの重みに加算する。加えて、直近

のタイムスロットに実施を希望している行動からも重みを吸い取ることによって、行動間の優先順序関係を反映させる。これを手法 1 に示す。ここで、 N はフィードバック回数であるため、フィードバックを繰り返す回数が大きくなるほど重みを吸い取る範囲が大きくなり、希望タイムスロットに重みを集中させることが可能である。

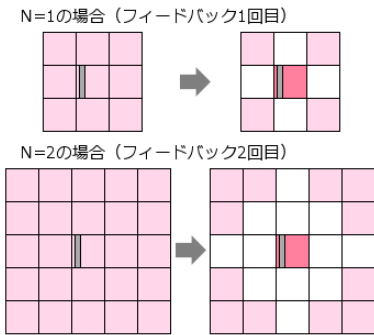


図 9 単一指定時の重み抽出の様子

Algorithm 1 単一指定時の重み調整

```

center = 指定タイムスロット
h = 調整する行動のソート番号
for k = center - N; k <= center + N; k ++ do
    wk,h,i --;
    sum ++;
end for
for k = 0; k < N; k ++ do
    range = N - k
    for j = center - range; j <= center + range; j ++ do
        wj,h+k,i --;
        wj,h-k,i --;
        sum += 2;
    end for
end for
wcenter,h,i += sum;

```

5.2.2 希望タイムスロットが範囲指定の場合

推薦結果が希望タイムスロットの範囲外である場合には、希望の範囲内にスケジューリングすればよい。範囲内ではあるが納得がいかなかった場合には、結果が希望範囲の前半、後半のどちらにスケジューリングされているかを判別し、結果が前半であれば後半、後半であれば前半に実施したいという要望として捉える。これらの意図を反映させるにあたって、行動または稼働 h の希望開始タイムスロット $i = begin$ 並びに希望終了タイムスロット $i = end$ に対し、結果として推薦されたタイムスロット $R_{h,i}$ を $R_{h,begin} = tb_{p,a}, tb_e$, $R_{h,end} = te_{p,a}, te_e$ とする。式 (34) にて希望タイムスロットにおける範囲開始スロ

ット $b_{h,i}$ 並びに範囲終了タイムスロット $e_{h,i}$ と、推薦タイムスロットのタイムスロット距離をこれらの差分として定義する。

$$\begin{aligned} \Delta b_{h,i} &= |b_{h,i} - R_{h,i}| \\ \Delta e_{h,i} &= |e_{h,i} - R_{h,i}| \end{aligned} \quad (34)$$

希望タイムスロットの範囲のうち、距離 $\Delta tb_{h,i}$, $\Delta te_{h,i}$ の値が小さい方から重みを減らしていき、距離が大きい方の重みを増加させることにより、推薦結果が希望範囲内にスケジューリングされていなかった場合は範囲内の重みを前半と後半のいずれかに集中させる。また、推薦結果が範囲内ではあるが、ユーザが望む時間より早めの時間であった場合には遅めの時間に、ユーザが望む時間より遅めの時間であった場合には早めの時間にシフトさせるような重みに修正する。これを手法 2 に示す。また、希望タイムスロットが範囲指定の場合にも、実施時間帯が近傍の行動から重みの抽出を行う。

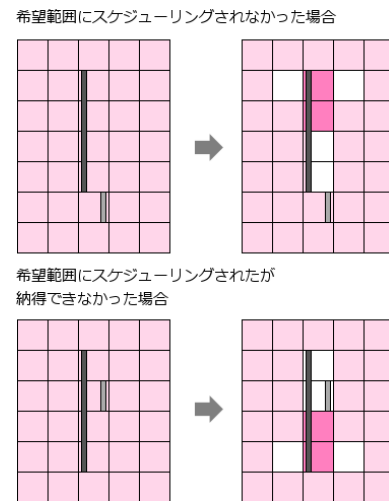


図 10 範囲指定時の重み抽出の様子

5.2.3 外出行動の場合

外出行動に対し、ユーザから許容できないという評価が返された場合、移動手段に納得がいかなかったということも考えられる。そこで、移動手段が徒歩であった場合には、式 (26) における N_{reject} の値を 1 増やすことで、該当行動で自動車を用いた場合の利便性満足度を増加させ、移動手段が自動車に変更されるようにする。

5.3 電力コストおよび生活満足度の優先比率

1 回のスケジューリングにおいて、システムは電力コストと生活満足度の比率が異なる 3 パターンの結果を提示

Algorithm 2 範囲指定時の重み調整

```
if  $\Delta b_{h,i} < \Delta e_{h,i}$  then
  center =  $e_{h,i}$ ;
  for  $k = b_{h,i}; k \leq b_{h,i} + \Delta b_{h,i}; k++$  do
     $w_{k,h,i}--$ ;
    sum++;
  end for
   $b_{h,i} += \Delta b_{h,i}$ ;
else
  center =  $b_{h,i}$ ;
  for  $k = e_{h,i}; k \geq e_{h,i} - \Delta e_{h,i}; k--$  do
     $w_{k,h,i}--$ ;
    sum++;
  end for
   $e_{h,i} -= \Delta e_{h,i}$ ;
end if
for  $k = 0; k < N; k++$  do
  range =  $N - k$ 
  for  $j = center - range; j \leq center + range; j++$  do
     $w_{j,h+k,i}--$ ;
     $w_{j,h-k,i}--$ ;
    sum += 2;
  end for
end for
center 側から始めて  $b_{h,i}$  から  $e_{h,i}$  までの間に sum を配分
```

する。ユーザは3パターンの中から最も好みに合うスケジュールを選ぶことができ、選択されたスケジュールの電力コスト:生活満足度の比率を元に、システムは3パターンの比率をそれぞれ変化させて再スケジュールリングを行う。再スケジュールリングの際は、ユーザに選択された比率を $cost : sat$ を基準として、 $cost$ の比率を大きくしたもの、 sat の比率を大きくしたもの、 $cost : sat$ から比率を変更しないものの3パターンを計算する。

6. 性能評価

6.1 提案手法による推薦スケジュールの評価

実世帯における生活行動 [7] を参考に、夫婦の一般的な生活行動パターンを用いて一週間のスケジュールリングを行った。今回入力として与えた行動内容、稼働内容とその消費電力及び移動距離を表4に示す。

また、対象とする一週間の行動パターンを表5に示す。表5において、括弧内は(実施回数, 夫婦が同一行動を同時に行う回数)である。行動や稼働はそれぞれ表に示す回数実施されるものとし、睡眠や夕食のように毎日一回ずつ行われるものもあれば、テレビのように一日に二回行われるものもある。また、昼食、調理、夕食、テレビ、買い物の一部は夫妻が同時に同一の行動を行う。

この行動パターンに対し、4章に示した方法により解を求

表4 行動と稼働の内容

内容	消費電力 [kWh]	移動距離 [km]
睡眠	—	—
支度	—	—
昼食	0.234	—
夕食	—	—
調理	0.467	—
掃除	0.776	—
入浴	—	—
アイロン	0.105	—
テレビ	0.031	—
PC	0.049	—
ゴルフ	—	10
買い物	—	1, 5
仕事	—	8
炊飯器	0.203	—
洗濯機	0.09	—
乾燥機	1.2	—
エアコン	0.614	—

表5 一週間の生活パターン

対象者	行動
夫	睡眠 (7), 入浴 (7), 昼食 (1,1), 調理 (2,1), 夕食 (7,2), PC(3), テレビ (3,2), 仕事 (5), ゴルフ (1), 買い物 (1,1)
妻	睡眠 (7), 入浴 (7), 昼食 (7,1), 調理 (5,1), 夕食 (7,2), 掃除 (3), テレビ (7,2), 買い物 (4,1)
家電	炊飯器 (7), 洗濯機 (5), 乾燥機 (3), エアコン (5)

めた結果、電力コストは最大で8158.88円、最小で-8043.00円であるところ、推薦スケジュールでは-4954.17円となり、80.94%のコスト削減となった。また、時間性満足度、快適性満足度、利便性満足度の指数値はそれぞれ94.22%、98.56%、70.68%となり、時間性、快適性について高い値を維持していると言える。利便性については、外出行動10回中車利用は6回と制限されたものの、買い物と比較して移動距離が大きい通勤では、すべての行動で車を使用しており、距離に応じて自動車の利用を決定することができている。また、推薦内容についても、入浴と食事を同時に行うことがない、電気自動車を同時に別の外出行動に用いることがないなど、定式化した制約式によって一般生活として妥当なスケジュールを生成できていることを確認した。

6.2 指標の優先比率変更によるフィードバックの評価

スケジュールリングに加えて、電力コスト重視、時間性満足度重視、快適性満足度重視、利便性満足度重視の4種類の評価によるフィードバックを行い、重み変化の前後で結果の比較を行った。以降、表6におけるそれぞれのシナリ

表 6 フィードバックによる電力コストと生活満足度の変化

シナリオ	cost : sat	tsat : csat : asat	電力コストの差	生活満足度の差
初期	5 : 5	63.2 : 33 : 3.8	—	—
A 電力コスト重視	6 : 4	63.2 : 33 : 3.8	-588[円]	-5.02[%]
B 時間性重視	4 : 6	72.96 : 26.2 : 0.84	-169[円]	+1.26[%]
C 快適性重視	4 : 6	52.14 : 45.96 : 1.9	-266[円]	+0.32[%]
D 利便性重視	4 : 6	59.93 : 26.67 : 13.4	+414[円]	+0.15[%]

オとフィードバック前の初期シナリオとの比較を述べる。

シナリオ A では、夫が仕事に行く際の車使用を控えること、エアコンの使用時間を短縮すること、テレビ視聴の時間帯を1時間シフトすることより、588 円の電力コスト削減に成功している。また、初期シナリオにおいては、電力コストの面より、4 日目の 11:00~15:59 の間に指定されていた乾燥機の稼働が翌 5:00~6:59 稼働に変更されているが、シナリオ B では、これを希望通りの 11:00~12:59 にシフトしている他、7 日目の乾燥機の稼働や、4 日目の夫婦の昼食時間を希望通りに修正している。シナリオ C では、エアコンの使用時間をお昼の外気温が高い時間帯にシフトすることで、快適性満足度を 1.54%ほど上昇させている。シナリオ D では、外出行動における自動車の使用が 2 回ほど増え、特に、移動距離の大きいゴルフ行動において自動車を使うようになった。しかしその分、電気自動車をバッテリーとして使用する時間が少なくなり、電力コストは 414 円増加した。

6.3 実施時間帯の重み調整によるフィードバックの評価

行動実施時間帯の重みの調整によるスケジュール変化を評価するため、実装したフィードバックインターフェースを用いて、行動の実施時間帯の重みを調節し、フィードバックを行った。重み調整においては、夫婦の行動パターンを一日に絞って評価を行った。その内容を表 7 に示す。表 7 において、括弧内は実施回数を表す。

表 7 一日の生活パターン

対象者	行動
夫	睡眠 (2), 支度, 仕事, 夕食, 入浴, テレビ, パソコン
妻	睡眠 (2), 調理 (2), パソコン, 散歩, 昼食, テレビ (2), 掃除, 買い物, 夕食, 入浴, アイロン
家電	炊飯器 (2), 洗濯機, 乾燥機

フィードバックを行う前のスケジュールリング結果では、「洗濯機と乾燥機が同時刻に稼働してしまっているので、洗濯機の稼働後に乾燥機を稼働させたい」、「夫婦の入浴時間

並びにテレビ視聴時間が重複してしまっているのが、別々の時間帯に行いたい」といった要望が発生することが考えられる。そこで、ユーザの可否評価によって、乾燥機、入浴、テレビの推薦結果を「許容できない」とした。また、掃除は一日のどこかで1時間実施したいという入力に対し、睡眠を希望時間より縮め、朝5時に実施するという結果となった。これに対するユーザ要望として、掃除はもっと後の時間帯に行いたいと考えられることから、睡眠や掃除に対しても「許容できない」と評価した。逆に、夕食が夫婦で同一の時間帯に実施されることや、炊飯器の稼働後に夕食を開始することなどは、ユーザの希望を反映できていると捉え、「許容できる」として評価を返した。このフィードバックの結果、乾燥機、入浴、テレビ視聴はユーザの意図通りのスケジュールを導出した。スケジュール変化の一例を図 11 に示す。

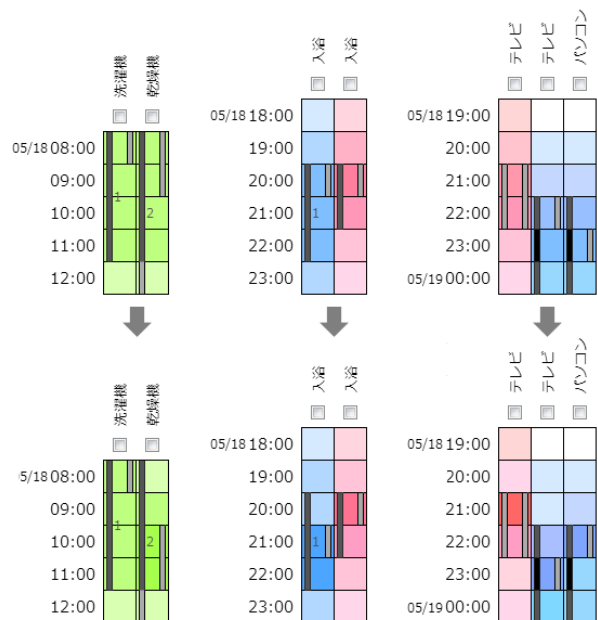


図 11 使用電力量割当状況の表示

しかし、掃除に関しては、今度は 23:00 に実施という結果となり、ユーザにとって、実施時間帯が遅すぎると感じられると思われる。加えて、乾燥機も、洗濯機の稼働終了直後

から運転させたいという要望が発生すると予想されるため、これらに対して「許容できない」という評価を返すと共に、クリックによる重み調整により、掃除は9:00~16:00に重みを集中させ、乾燥機は9:00のタイムスロットに重みを集中させ、2回目の再スケジュールリングを実行した。その結果、乾燥機、掃除ともに9:00にスケジュールリングされた。クリックによって調整した重みの様子と、再スケジュールリング結果を図12に示す。

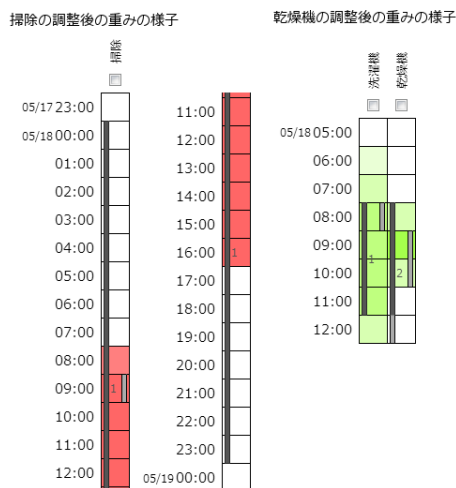


図 12 クリックによって調整した重みと再スケジュールリング結果

7. おわりに

本研究では、スマートホーム一世帯を対象とし、そこに居住する人や配置された家電の電力消費モデルを提案した。さらに、このモデルを利用し、人の行動と家電の稼働に対し、電力コストと生活満足度を最適化するように、行動の時間帯や電力売買の時間帯、電力量を決定する行動スケジュールリング手法を提案した。加えて、ユーザの嗜好をより詳細に反映するためのフィードバックシステムと、ユーザが行った操作から、スケジュールに対する要望を汲み取るためのユーザインタフェースを提案した。一般的な世帯モデルに対して提案手法を適用することにより、行動が改善され、生活の質を下げずに電力コストを削減できていることをシミュレーションで示した。また、インタフェース上のユーザ操作によるフィードバックによって、電力コストと生活満足度の割合を変化させた場合の解、並びに実施時間帯の重み調整を行った場合の解を導出し、ユーザに合わせたスケジュールリングが可能であることを示した。

今後の課題としては、天候や交通手段など、より多くの要因を考慮を考慮するスケジュールリング手法への改善や、

推薦スケジュールに対し、実際にユーザがどれほどスケジュール通りに行動できるか、そしてその場合の電力コストや生活満足度がどのように変動するかを計算するシミュレータの設計などを考えている。

参考文献

- [1] 中村笙子, 廣森聡仁, 山口弘純, 東野輝夫, 山口容平, 下田吉之. スマートホームにおける電力コストと生活満足度を考慮した行動スケジュールリング手法の提案. 情報処理学会. モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会研究報告, Vol. 2013-MBL-65, No. 7, pp. 1-8, March 2013.
- [2] Amir-Hamed Mohsenian-Rad, Senior Member Vincent W. S. Wong, Juri Jatskevich, Robert Schober, and Alberto Leon-Garcia. Autonomous demand-side management based on game-theoretic energy consumption scheduling for the future smart grid. *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 1, pp. 320-331, December 2010.
- [3] 大木浩武, 安本慶一, 玉井森彦. 快適さと省エネのトレードオフの発見を支援する家電制御ユーザインタフェース. 情報処理学会. 第20回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2012) 論文集, Vol. 2012, No. 17, pp. 233-239, November 2012.
- [4] Chao Chen, Diane J. Cook, and Aaron S. Crandall. The user side of sustainability: Modeling behavior and energy usage in the home. *Pervasive and Mobile Computing*, Vol. 9, pp. 161-175, February 2013.
- [5] 東京電力. 電化上手 (季節別時間帯別電灯). <http://www.tepco.co.jp/e-rates/individual/menuashhome/home01-j.html>.
- [6] 中部電力. 電力需給 最大電力の推移. http://www.chuden.co.jp/corporate/publicity/datalist/juyo/dat_maximum/index.html.
- [7] 山口容平, 佐藤大樹, 田中マルコス, 下田吉之. 家庭における世帯構成員生活時間行動モデルの開発. エネルギー・資源学会. エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集 (2012-1), CD-ROM, pp. 361-364, 2012.
- [8] Katherine Everitt, Peter F. Oven, Shwetank N. Patel, and James A. Landay. Groupenergytable: An interactive tabletop for energy conservation. *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 11, pp. 46-53, March 2012.
- [9] Hao Liang, Bong Jun Choi, Weihua Zhuang, and Xuemin (Sherman) Shen. Towards optimal energy store-and-deliver for PHEVs via V2G system. *Proceedings of IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS 2012)*, pp. 1674-1682, March 2012.
- [10] Zhong Fan. Distributed demand response and user adaptation in smart grids. *Proceedings of IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM 2011)*, pp. 726-729, May 2011.
- [11] 三菱電機株式会社. 業界初「PV・EV連携 HEMS」による電力最適制御実証を大船スマートハウスで開始. <http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2012/0515.html>, May 2012.
- [12] トヨタホーム. トヨタホームのスマートハウス. <http://www.toyotahome.co.jp/smarthouse/>.
- [13] パナソニック. スマート HEMS でできること. <http://sumai.panasonic.jp/hems/aiseg/dekirukotolashindex.html>.