

# 嗜好アンケートに基づく個人適応型省エネ行動推薦手法の検討

## ～家庭における空調サービスへの適用～

岡村 雄敬<sup>†</sup> まつ本真佑<sup>††</sup> 中村 匡秀<sup>††</sup>

<sup>††</sup> 神戸大学 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1

E-mail: †{okamura,shinsuke,masa-n}@cs.kobe-u.ac.jp

あらまし 我々はホームネットワークシステム (HNS) において、個人に適応した省エネ機器操作を発見・推薦する手法について研究を続けている。本研究では、家庭の空調サービスに焦点を絞り、ユーザ個人個人の嗜好に最適な空調機器操作を省エネ行動として推薦する手法について考察する。具体的には、ユーザに事前アンケートをとり、各ユーザの省エネ意識、冷房・暖房に対する要求、機器の嗜好を抽出する。次に抽出した嗜好に基づき、機器操作と消費電力に関する最適化問題を定式化、それを求解することで個人適応型省エネ行動を導出する。提案手法を評価するために、15名の被験者に省エネ行動を推薦する実験を行った。その結果、全ての被験者がそれぞれ異なる嗜好を持っていることが分かった。また、推薦された省エネ行動に対しおおむね満足いく推薦であることが示され、提案法の有効性が確認できた。

キーワード ホームネットワーク、省エネ行動、個人適応型サービス

## A Proposal of Finding Personalized Energy-Saving Behaviors Based on Questionnaire of User Preference

### ～Applying Air Conditioning Services in Home～

Takenori OKAMURA<sup>†</sup>, Shinsuke MATSUMOTO<sup>††</sup>, and Masahide NAKAMURA<sup>††</sup>

<sup>††</sup> Kobe University Rokkoudai-cho 1-1, Nada-ku, Kobe, Hyogo, 657-8501 Japan

E-mail: †{okamura,shinsuke,masa-n}@cs.kobe-u.ac.jp

**Abstract** We have been studying the *personalized energy-saving behaviors* using the Home Network System (HNS). In this paper, we propose a method that finds personalized energy-saving behaviors in air conditioning services. Specifically, we first extract user's preference to energy-saving, air conditioning and appliances, by conducting a preliminary questionnaire. Using the preference of each user, we then formulate an optimization problem on preferred appliance operations and the power consumptions. By solving the problem, we derive a personalized energy-saving air-conditioning service. To demonstrate the effectiveness, we conduct an experiment with fifteen subjects in an actual HNS.

**Key words** home network, energy-saving behavior, personalized service

### 1. はじめに

社会におけるエネルギー消費量は増加の一途を辿っており [1]、エネルギーの節約・省エネは大きな課題の一つとなっている。国内外では、エネルギーを節約するための様々なガイドラインやルールが勧告されている [2]。また、様々な省エネ技術が他分野にわたって研究・開発されており、市場にはこれらの省エネ技術を駆使した製品が登場してきている。例えば、人感センサ

を利用して無駄な点灯を減らす照明機器 [3] や、ユーザ不在時に画面を OFF にする TV [4] など、いわゆる「省エネ家電」が人気を集めている。また、HEMS [5] や BEMS [6] といった IT を駆使したエネルギー管理システムや、スマートグリッド等の配電インフラも整備されつつある。我々の研究グループでは、宅内の家電機器やセンサーをネットワークに接続し、便利で快適なサービスをユーザに提供するホームネットワークシステム (HNS) を用いて、家庭の省エネにつながる最適な家電機器操

作の組み合わせを提示・推薦する手法を提案している [7] . 具体的には, 各家電機器が温度や湿度などの環境属性 (環境プロパティと呼ぶ) に与える影響の大きさを定義し, その合計値とユーザ要求・消費電力などを制約条件とした最適化問題に帰着することで, 最適な省エネ操作の組み合わせを決定しユーザに推薦する .

一方で, 現在主流の省エネ製品やサービスの多くは, いかにして各機器を効率良く使用するかという点に焦点を置いており, 「モノ目線」の省エネとなっている . より受容性が高く継続可能な省エネを実現するには, 我々はユーザ個人個人の嗜好や生活スタイルに合わせた「ヒト目線」にたった省エネ行動 (個人適応型省エネ行動と呼ぶ) を分析して推薦する必要があると考えている .

本研究では, 家庭の空調サービスに焦点を絞り, ユーザ個人個人の嗜好に最適な空調機器操作を省エネ行動として推薦する手法について考察する .

具体的なステップとして, 個人適応型省エネ行動を「室内の暖房時」「室内の冷房時」の2ケースに絞り, まず家庭の空調サービス利用に関する事前アンケートを実施する . これにより各ユーザの持つ省エネ・節約に対する意識や冷房・暖房に対する要求の度合い, 機器の嗜好を抽出する . 次に抽出した嗜好に基づき, ユーザそれぞれについて従来法における最適化問題を定式化する . 例えば, 非常に寒がりなユーザに対しては, 冷房時に制約条件となる設定温度を高めにして消費電力の低減をねらう . 一方, 暖房時は室温を上げることを最優先とした制約条件や目的関数を定める . また, ユーザによっては特に使用したい機器や逆に使用を避けたい機器が存在することもあるため, こうした条件も式に取り入れて定式化を行う . 最適化問題を求解することで, 条件を満たす機器の組み合わせが各ユーザにとっての最適な個人適応型省エネ行動として推薦される .

提案手法を評価するためのケーススタディとして, 15 名の被験者にアンケートを実施して要求抽出を行い, 省エネ行動を推薦する実験を行った . その結果, 全ての被験者がそれぞれ異なる嗜好を持っており異なった推薦結果が得られることが分かり, 個人適応型省エネ行動を推薦する必要性が確認できた . 実験後には被験者から推薦結果に関するフィードバックを受け取り, 提案手法の有効性を確認した .

## 2. 準備

### 2.1 家庭における省エネの現状

家庭における省エネはますます重要視されており, 様々な省エネ家電や, 省エネ素材, 発電・蓄電システム, 自動車, 家など, あらゆるモノの省電力, 効率化に焦点を当てた技術開発がすすんでいる . また, HEMS [5] や BEMS [6], スマートグリッド, ホームネットワークシステム (HNS) [7] など複数のモノを ICT 技術で連携制御して, さらなる効率化を目指すアプローチも存在する . これらの省エネ技術は, 主に「モノ」が消費するエネルギーを削減, 節約することに主眼が置かれている .

一方で, トータルな省エネを目指すためには「ヒト」が浪費するエネルギーも削減しなければならない . 各家庭における省

エネ実現の試みとして, 家電機器の効率の良い使い方や省エネを意識した家電の使い方に関するガイドラインが様々な機関や一般個人により公開されている [2] [8] [9] .

こうしたガイドラインに基づいて, ユーザー一人ひとりが省エネにつながる行動 (省エネ行動と呼ぶ) を自発的, かつ, 継続的に行う必要がある . 典型的な省エネ行動として「テレビのつけっぱなしを減らす」「外が明るいときは照明をつけない」「環境変化に合わせてこまめにエアコンの設定温度を変える」といった例が挙げられる .

ユーザの自発的な省エネ行動を促すため, 最近では「エネルギーの見える化」技術の研究・開発が流行している [10] [11] . エネルギー消費の実態を可視化することで, ユーザの省エネ意識を高め, 自発的な省エネ行動を促す効果があるとされている .

### 2.2 個人適応型省エネ行動

様々な省エネ製品やサービス, ガイドラインが存在するが, 全てのユーザがそれらを受け入れ, 継続的な省エネ行動を続けるとは考えにくい . ユーザの省エネに対する意識やその時の事情には個人差があるからである . 例えば「室温が  $20^{\circ}\text{C}$  を超えたので, エアコンの暖房運転をストップする」というサービスを考える . ある節約家のユーザ A にとっては要求を満たすサービスとなるが, ある冷え性のユーザ B にとってみると室温の高さが十分ではなく, もう少し暖房運転を続けたいと感ずる場合がある . この場合, ユーザ B にとってこのサービスは満足のいくものにはならない .

また, パナソニック電工が今年6月に行った一般家庭の節電意識調査 [12] によると「過度に節電を強いられるとストレスを感じる」と回答した人の割合が過半数を越えており, 無理なく継続できる節電・省エネ対策を講じる必要があることを示している . この問題を解決するには, ユーザー一人一人の趣味や嗜好, 性格や生活スタイルを考慮し, これらに適応した無理のない省エネ行動 (個人適応型省エネ行動と呼ぶ) を促す必要がある . 個人適応型省エネ行動とは, ユーザの趣味や嗜好, 生活スタイルに合わせた, ユーザ個人個人が最も適切であると感じる省エネ行動を指す . 例えば, 同じ暖房サービスでも, 健康な A さんは推奨温度である  $20^{\circ}\text{C}$  で運転, 節約家の B さんは  $18^{\circ}\text{C}$  で運転, 冷え性の B さんは部屋が暖まるまで  $25^{\circ}\text{C}$  で急速暖房運転を推薦するという具合である .

## 3. 先行研究

### 3.1 数理計画法による省エネ行動推薦手法

先行研究 [7] において我々は, HNS におけるユーザの家電操作に対し, より省電力な機器操作を発見, 推薦する手法を提案している . 具体的には, まず家電機器の操作が環境プロパティ (温度, 湿度など) に対して直接または間接的に与える影響を環境相互作用として定義する .

次に, ユーザに推薦する機器操作の組み合わせを求めめるため, 各機器操作  $(o_1, o_2, \dots, o_n)$  を選ぶかどうかを,  $0, 1$  の変数とする2値ベクトル  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  であらわす . 次に, 各環境プロパティを環境相互作用を係数とする多項式  $f(X)$  で表現する . その後, 消費電力への要求やユーザ環境の制約条件を,

表 1 機器別寄与度係数の例

|      | 操作変数 | エアコン(暖房) |       |       | エアコン(冷房) |       |       | エアコン  | 加湿器   |       | カーテン     |          | 窓        |          | 扇風機      | ヒーター     | カーペット    |
|------|------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|      |      | 20°C     | 23°C  | 26°C  | 28°C     | 25°C  | 21°C  | ドライ   | 加湿    | 除湿    | 開ける      | 閉める      | 開ける      | 閉める      | オン       | オン       | オン       |
|      |      | $x_1$    | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$    | $x_5$ | $x_6$ | $x_7$ | $x_8$ | $x_9$ | $x_{10}$ | $x_{11}$ | $x_{12}$ | $x_{13}$ | $x_{14}$ | $x_{15}$ | $x_{16}$ |
| 直接作用 | 温度   | 8        | 10    | 12    | -8       | -10   | -14   | 0     | 0     | 0     | 0        | 0        | -3       | 3        | 0        | 14       | 4        |
|      | 湿度   | -3       | -4    | -5    | -3       | -4    | -5    | -8    | 10    | -7    | 0        | 0        | -2       | 0        | 0        | -6       | 0        |
|      | 消費電力 | 350      | 450   | 600   | 400      | 500   | 650   | 500   | 300   | 300   | 0        | 0        | 0        | 0        | 60       | 650      | 150      |
| 間接作用 | Δ温度  | 0        | 0     | 0     | 0        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0        | 0.1      | 0        | 0.2      | 0.4      | 0        | 0        |

温度  $C_{temp}(x) = (8x_1 + 10x_2 + 12x_3 - 8x_4 - 10x_5 - 14x_6 - 3x_7 + 3x_8 + 14x_{10} + 4x_{11}) * (1 + 0.1x_{11} + 0.2x_{13} + 0.4x_{14})$   
 湿度  $C_{humid}(x) = -3x_1 - 4x_2 - 5x_3 - 3x_4 - 4x_5 - 5x_6 - 8x_7 + 10x_8 - 7x_9 - 2x_{10} - 6x_{11}$   
 消費電力  $C_{power}(x) = 350x_1 + 450x_2 + 600x_3 + \dots + 60x_{14} + 650x_{15} + 150x_{16}$

(a) 環境プロパティへの寄与度の合計

|   |  |
|---|--|
| $R_A$ : 部屋をなるべく少ない消費電力で暖めたい。<br>MINIMIZE: $C_{power}(x)$<br>SUBJECT TO:<br>$C_{temp}(x) \geq 15$<br>$C_{humid}(x) \geq 5$<br>SOLUTION<br>$X_o = (0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 0)$<br>$C_{power}(X_o) = 810$<br>エアコン(23°C)、扇風機、窓閉、カーテン閉、加湿器を利用すると最適な省エネ | $R_B$ : 消費電力620W以下で最大限部屋を暖めたい<br>MAXIMIZE: $C_{temp}(x)$<br>SUBJECT TO:<br>$C_{power}(x) \leq 620$<br>SOLUTION<br>$X_o = (1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0)$<br>$C_{temp}(X_o) = 24$<br>エアコン(20°C)、カーペット、扇風機、窓閉、カーテン閉を利用すると暖房効果最大！ |
|---|--|

(b) 問題例A

(c) 問題例B

図 1 最適化問題の流れ図

環境プロパティ上の目的関数と制約条件とする最適化問題に帰着する。これを求解することで最適な省エネ操作の組み合わせ  $X_o = (x_{o1}, x_{o1}, \dots, x_{on})$  が一意に定まる。

表 1 に、環境相互作用の設定例を示す。各機器操作  $X = (x_1, x_2, \dots, x_{16})$  に対して環境へのインパクトが係数になっている。設定した環境相互作用を用いて各環境プロパティへの寄与度合計を式に表したものが図 1 の (a) である。温度、湿度、消費電力の合計値はそれぞれ  $C_{temp}(X)$ 、 $C_{humid}(X)$ 、 $C_{power}(X)$  として表現する。作成された式に対する問題例が図 1 の (b) と (c) で示されている。問題例 A は「部屋をなるべく少ない消費電力で暖めたい」という要求であり、要求を  $C_{temp}(X) \geq 15$ 、 $C_{humid}(X) \geq 5$  という具体的な制約条件に置き換えて立式する。この時  $C_{power}(X)$  が目的関数となり、これを最小化する解の組み合わせが最適解となる。この問題を数計画法を用いて解くと、最適解  $X_o = [0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 0]$  が得られる。 $X_o$  では、エアコン (23°C)、扇風機、窓 (閉める)、カーテン (閉める)、加湿器の操作変数が 1、すなわちこれらの機器を併用して使うことでユーザの要求を満たす最も省エネな機器操作が可能となる。

問題例 B は「消費電力 620W 以下で最大限部屋を暖めたい」という要求である。これを式に直すと  $C_{power}(X) \leq 620$  という制約条件のもとで  $C_{temp}(X)$  が目的関数となり、これを最大化する解の組み合わせが最適解となる。この問題を数計画法を用いて解いた結果は図 1 の (c) の通りである。

### 3.2 先行研究の問題点

先行研究の問題点として、個人個人に合わせた最適化問題をどのように定式化するのか具体的方法が示されていないことが挙げられる。現状のシステムではユーザが制約条件や目的関数

を自分で設定しなければならず、例えば暖房サービスの使用を想定する場合、消費電力の上限値や気温上昇の希望値等を、手で設定する必要がある。しかし知識の乏しいエンドユーザがそれを自力で正しく決定するのは困難であり、さらに設定した値が不適切な場合には推薦結果がユーザの満足いくものにならない。ユーザにとってより利便性の高いサービスを提供するためには、各ユーザの持つ嗜好や特性を自然な形で取得し、個人個人に合わせた省エネ行動を動的に推薦する枠組みが必要である。

## 4. 提案手法

### 4.1 事前アンケートによるユーザ嗜好の抽出

ユーザ個人個人に合わせた省エネ行動の動的な推薦を実現するためには、それぞれのユーザが持つ嗜好や特性が明確になっていなければならない。そこでまず、サービス利用者となるユーザに対してユーザ嗜好の抽出を目的とした事前アンケートを行う。今回は個人適応型省エネ行動を「室内の暖房時」「室内の冷房時」の 2 ケースに絞り、家庭の空調サービス利用に関するアンケートを行う。

図 2 に実施したアンケートを示す。空調サービスの省エネ行動推薦に必要なデータとして、節約に対する意識 (Q1)、暑さや寒さ・湿気に対する許容度の大きさ (Q2-Q5)、それらの間の優先度 (Q6)、良く使用する機器 (Q7)、逆に使用を避けたい機器 (Q8) をユーザに答えてもらう。

アンケートの質問は節約 (省エネ) や空調環境に対するユーザの嗜好・要求を問診するものであり、個人個人の嗜好の分類、分析に利用される。

### 4.2 ユーザの省エネタイプの決定

事前アンケートの回答結果をもとに、各ユーザの「暖房」「冷房」実行時における省エネタイプを決定する。ユーザの省エネタイプは基本として次の 5 つに分類するものとする。

タイプ 1: 超節約型 何よりも節約を優先し、多少の我慢をしてもとにかく 1 円でも多く節約したいと考えるユーザは超節約型タイプに分類する。

タイプ 2: 節約型 どちらかという満足度を上げるよりも節約を優先した機器使用を行いたいと考えるユーザは節約型タイプに分類する。

タイプ 3: 一般型 満足度のある程度満たしつつ、出来る範囲で節約をした機器使用を行いたいと考えるユーザは一般型タイプに分類する。

タイプ 4: 浪費型 極力我慢をせず、節約よりも満足度を満たす機器使用を優先したいと考えるユーザは浪費型タイプに分類する。

Q1. あなたの「節約」に対する意識として、次の5個の選択肢から最も当てはまるものを一つ選んでください

- 1 多少無理してでもとにかく1円でも多く節約したい
- 2 可能な限り出費を抑えて節約したい
- 3 無理のない範囲で出来るなら節約したい
- 4 あまり節約など気にせず出来るだけ快適に過ごしたい
- 5 全く節約など気にせず快適に過ごしたい

Q2. あなたの「寒さ」に対する意識として、次の5個の選択肢から最も当てはまるものを一つ選んでください

- 1 寒さには強いので、いくら寒くても我慢できる
- 2 寒さには強い方なので、ある程度我慢できる
- 3 特に寒さに強くも弱くもないので少しくらい我慢できる
- 4 寒いのは苦手なので、出来るだけ寒さは我慢したくない
- 5 寒いのはとても苦手なので絶対に寒さは我慢したくない

Q3. あなたの「暑さ」に対する意識として、次の5個の選択肢から最も当てはまるものを一つ選んでください

: (同様の5段階評価)

Q4. あなたの「空気の乾燥」に対する意識として、次の5個の選択肢から最も当てはまるものを一つ選んでください

: (同様の5段階評価)

Q5. あなたの「湿気」に対する意識として、次の5個の選択肢から最も当てはまるものを一つ選んでください

: (同様の5段階評価)

Q6. 節約、暖房、冷房、加湿、除湿に対して、自分の中での優先順位をつけてください

Q7. 冷房や暖房を行う際に必ず使用したい機器があれば記述してください 理由もつけて記述してください

Q8. 冷房や暖房を行う際に必ず使用を避けたい機器があれば記述してください 理由もつけて記述してください

図2 空調サービス利用に関する事前アンケート

タイプ5:超浪費型 機器を使用する際に我慢するのを極端に嫌うユーザは超浪費型タイプに分類する。

アンケートの回答結果から、各ユーザの「暖房」「冷房」それぞれの省エネタイプの決定を行う。基本的には、図2のアンケートにおける「Q2:寒さに対する意識」と「Q3:暑さに対する意識」で答えた値がそれぞれ暖房時と冷房時の省エネタイプになる。例えばQ2で3、Q3で2と答えたユーザは、暖房時にはタイプ3の一般型、冷房時にはタイプ2の節約型とする。ただし、冷暖房より節約を優先したいユーザもいる。Q6で節約が冷暖房より上位に来るユーザに対しては、「節約に対する意識」で答えた値を冷暖房時の省エネタイプとすることにした。

#### 4.3 省エネタイプ別の推薦指針

前節で分類した省エネタイプに沿って、個人適応型省エネ行動の推薦指針を決定する。各タイプ別の推薦指針は以下の通りである。

タイプ1:超節約型 このタイプに属するユーザに対しては、消費電力量を低めに抑えることを最優先した機器操作を省エネ行動として推薦する。

タイプ2:節約型 このタイプに属するユーザに対しては、決められた消費電力量の範囲内で満足度を最大化できる機器操作を省エネ行動として推薦する。

タイプ3:一般型 このタイプに属するユーザに対しては、満足度の上昇と節約の両方をバランスよく満たす機器操作を省エネ行動として推薦する。

タイプ4:浪費型 このタイプに属するユーザに対しては、満足度をおおむね満たす範囲内で消費電力量を少なくする機器操作を省エネ行動として推薦する。

タイプ5:超浪費型 このタイプに属するユーザに対しては、満足度を満たすことを最優先した機器操作を省エネ行動として推薦する。

#### 4.4 ユーザ嗜好に基づく最適化問題の定式化

前節で決定した各省エネタイプに対し、3章で述べた先行研究の最適化問題を定式化する。

タイプ1から3のユーザに対しては、消費電力  $C_{power}(X)$  を制約条件、温度に関する寄与度合計  $C_{temp}(X)$  を目的関数とすることで節約を優先した機器操作の推薦を行う(図1の問題例Bに類する定式化)。ここでタイプ1のユーザには室温などの環境状態に関わらず  $C_{power}(X)$  の合計値を固定で与えることで、いかなる場合でも消費電力の低減を最優先とした推薦を実現する。タイプ2のユーザに対しては、その時々々の環境状態に合わせた形で動的に  $C_{power}(X)$  を設定することである程度満足度を満たしつつ省エネを実現する推薦が可能となる。タイプ3のユーザに対しては、 $C_{power}(X)$  の設定値をやや緩めに設定することで、満足度の上昇と節約の両方をバランスよく満たす省エネ行動推薦が可能となる。

一方タイプ4と5に分類されるユーザに対しては、温度に関する寄与度合計  $C_{temp}(X)$  を制約条件、消費電力  $C_{power}(X)$  を目的関数とすることで、節約よりも満足度を満たすことを優先した機器操作の推薦を行う(図1の問題例Aに類する定式化)。タイプ4のユーザに対しては、その時々々の環境状態に合わせた形で動的に  $C_{temp}(X)$  を設定することで満足度をおおむね満たしつつ消費電力を減らした推薦が可能となる。タイプ5のユーザには室温などの環境状態に関わらず  $C_{temp}(X)$  の制約条件を固定で与えることで、いかなる場合でも満足度を満たすことを最優先とした推薦を実現する。

また、冷暖房実行時の省エネタイプと同じく湿気や乾燥に対する意識もユーザによってまちまちである。湿気や乾燥に対する意識が高く優先順位が高いユーザに対しては、温度だけでなく湿度に対する寄与度の合計値も制約条件に組み込み、立式するものとする。

最後に、アンケートのQ7、Q8に基づき、必須使用機器と使用不可機器の決定を行う。必須使用機器として選択された機器操作  $o_i$  に対応するベクトル  $X$  の要素  $x_i$  は常に1となり、最適解計算時に必ず解として選択されることになる。逆に使用不可機器として選択された機器操作  $o_i$  に対応するベクトル  $x_i$  は常に0となり、最適解からは必ず外れることになる。

以上の結果から最適化問題を解く上で必要となる式が作成され、計算結果として得られた機器操作の組み合わせが各ユーザ

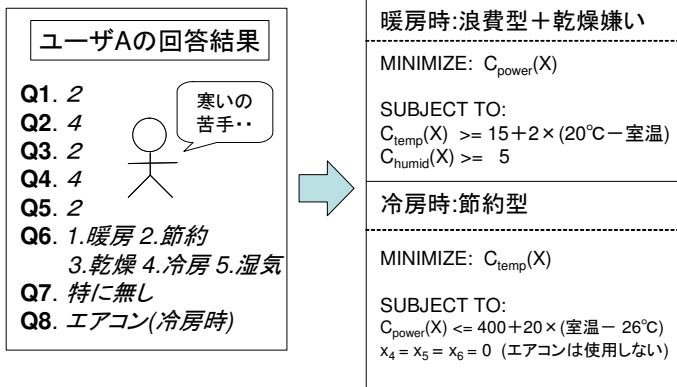


図3 アンケート回答例と定式化例

に合わせた個人適応型省エネ行動となる。

#### 4.5 個人適応型省エネ行動推薦手法

実際にサービスを利用するユーザAを対象として、省エネ行動推薦の具体的な流れを解説していく。ここでAは「基本的には節約家であるが、冷え性のため寒さと乾燥はやや苦手」という特性を持ったユーザであると仮定する。

Step1:事前アンケートの実施 まず最初に、ユーザAに事前アンケートに回答してもらい冷暖房時の省エネタイプ分類を行う。ここで得られた回答結果を図3に示す。

Step2:省エネタイプの決定 得られた回答結果より、Aの省エネタイプは冷房時に「節約型」、暖房時に「浪費型」に分類されるという結果が得られた。また、乾燥に対する要求の大きさから「暖房時に湿度をある程度保ちたい」という要求があることや「冷房時にエアコンを使いたくない」という回答から冷房時のエアコンは使用不可機器となるというユーザ嗜好が抽出できた。

Step3:ユーザ嗜好に基づく最適化問題の定式化 以上の結果から、最適化問題を解くための定式化を行う。Step2の結果から「節約型」である冷房時には消費電力量の合計を制約条件として、目的関数である温度の寄与度合計を最小化する最適化問題として解を求める。その時、エアコンは使用不可機器となるため最適解には用いないものとする。一方「浪費型」である暖房時には温度の寄与度合計を下限値とする制約条件のもと、消費電力量を最小化する最適化問題として解を求める。さらに乾燥に対する要求から、湿度の寄与度合計を下限値として温度と同じく制約条件として用いる。ここで、制約条件として用いる具体的な式を図3に示す。この定数は部屋の広さや機器の能力等によって最適値はさまざまであるため、事前に正しく決定しておく必要がある。

## 5. 評価

### 5.1 実験概要

提案手法の有効性を示すため、我々が以前から開発している実際のHNS(CS27-HNS)における実ユーザを対象に、実験を行った。まず被験者となる実ユーザ15人に対して事前アンケートを行って嗜好の抽出を行い、回答結果から省エネタイプや使用必須/不可機器の決定をする。次に、CS27-HNSにおい

て各ユーザがサービスを利用する状況を想定し、各ユーザごとに問題の定式化を行う。与えられた式から最適化問題を解き、CS27-HNS内の機器の中から各ユーザにとって最適な省エネ行動となる機器操作の組み合わせを算出・推薦する。その後、推薦結果にどの程度満足したかを5段階で各ユーザに評価してもらい提案手法の有効性を確認した。

### 5.2 実験環境の設定

今回の実験における被験者の情報は以下の通りである。

回答日 2011年6月9日

人数: 15人

性別: 男性:15人

年齢: 20代:14人 30代:1人

職業: 学生:13人 教員:2人

回答時間 5分から10分

事前アンケートは図2のものを用い、Q1からQ8の質問に回答してもらう。またCS27-HNS内で使用可能な機器操作や、各機器操作の消費電力や環境相互作用は表1と同じものを用いた。

### 5.3 提案手法の実行

実際のアンケートの回答結果と分類した省エネタイプをユーザごとにまとめたものを表2に示す。回答結果から、被験者15人のうち完全に同じ回答結果になったユーザは一人もおらずユーザごとに嗜好や特性は様々であることがわかった。また同じユーザの中でも、暖房時と冷房時の要求レベルが大きく異なるユーザも多く、冷房時と暖房時で省エネタイプを別々に設定する提案手法は有効であるといえる。

分類した省エネタイプとCS27-HNS内の機器能力表をもとに定式化を行い、実際に省エネ行動の推薦を行う。被験者がサービスを利用する状況は以下のように設定した。

環境状態: 室温:12℃ 湿度:35% 照度:十分明るい

状況: ユーザが外から帰宅、寒いので部屋を暖めたい

故障機器: なし

他のユーザ: なし

設定した状況下で、被験者が暖房サービスの利用を要求した際に推薦される機器操作の一覧を表3に示す。推薦された結果から、暖房に対する要求が大きいユーザにはエアコンやヒーターなどの能力が高い機器が中心に推薦され、節約の優先度が高いユーザにはカーペットなど消費電力の低い機器が中心に推薦されるといった結果が得られた。また乾燥を嫌うユーザには加湿器が、エアコンを使わないユーザにはエアコンを除いた機器で推薦するという具合に、ユーザの機器の好みも反映された結果となっている。

### 5.4 推薦結果とフィードバック

推薦された結果に対し被験者がどの程度満足しているかを1から5(5が最高値)の5段階で評価してもらい、さらに満足/不満足の原因も回答してもらった。そのフィードバック結果を表3に示す。回答結果の平均値は4.01となり、各ユーザはおおむね推薦結果に対して満足していることが分かった。満足の理由としては、「自分の好みに合った機器使用にあっている」というものや「普段使用を意識していない機器も推薦してくれてあり

表 2 アンケート回答結果まとめ

|       | アンケート回答結果 |    |    |    |    |     |    |    |    |     | 省エネタイプ分類結果 |      |           |           |
|-------|-----------|----|----|----|----|-----|----|----|----|-----|------------|------|-----------|-----------|
|       | 節約        | 寒さ | 暑さ | 乾燥 | 湿気 | 最優先 | 2位 | 3位 | 4位 | 最下位 | 暖房時        | 冷房時  | 必須機器      | 不要機器      |
| ユーザ1  | 4         | 3  | 4  | 1  | 4  | 暖房  | 冷房 | 節約 | 加湿 | 除湿  | 一般型        | 浪費型  |           | 扇風機(暖房時)  |
| ユーザ2  | 3         | 4  | 3  | 2  | 4  | 暖房  | 節約 | 加湿 | 除湿 | 加湿  | 浪費型        | 一般型  |           |           |
| ユーザ3  | 2         | 2  | 5  | 4  | 5  | 冷房  | 除湿 | 加湿 | 暖房 | 節約  | 節約型        | 超浪費型 | 加湿器(暖房時)  |           |
| ユーザ4  | 4         | 2  | 4  | 3  | 2  | 冷房  | 暖房 | 節約 | 加湿 | 除湿  | 節約型        | 浪費型  |           |           |
| ユーザ5  | 3         | 2  | 4  | 2  | 4  | 冷房  | 暖房 | 除湿 | 加湿 | 節約  | 節約型        | 浪費型  | ヒーター(暖房)  | エアコン(暖房)  |
| ユーザ6  | 3         | 5  | 1  | 4  | 2  | 暖房  | 加湿 | 除湿 | 節約 | 冷房  | 超浪費型       | 超節約型 |           | エアコン(冷房)  |
| ユーザ7  | 2         | 1  | 2  | 2  | 2  | 節約  | 冷房 | 暖房 | 加湿 | 除湿  | 超節約型       | 節約型  |           |           |
| ユーザ8  | 2         | 5  | 5  | 2  | 1  | 節約  | 除湿 | 冷房 | 暖房 | 加湿  | 浪費型        | 浪費型  | 扇風機(冷房時)  |           |
| ユーザ9  | 3         | 2  | 4  | 4  | 5  | 冷房  | 除湿 | 加湿 | 暖房 | 節約  | 節約型        | 浪費型  | 加湿器(暖房時)  |           |
| ユーザ10 | 4         | 4  | 4  | 2  | 3  | 冷房  | 除湿 | 加湿 | 節約 | 暖房  | 浪費型        | 浪費型  | エアコン      |           |
| ユーザ11 | 3         | 3  | 5  | 5  | 3  | 冷房  | 加湿 | 節約 | 暖房 | 除湿  | 一般型        | 超浪費型 | 加湿器(冷暖房時) | 除湿機(冷暖房時) |
| ユーザ12 | 3         | 3  | 4  | 2  | 3  | 冷房  | 暖房 | 節約 | 除湿 | 加湿  | 一般型        | 浪費型  | カーテン      |           |
| ユーザ13 | 3         | 2  | 4  | 2  | 4  | 冷房  | 除湿 | 節約 | 暖房 | 加湿  | 節約型        | 浪費型  |           |           |
| ユーザ14 | 2         | 3  | 3  | 2  | 3  | 暖房  | 冷房 | 節約 | 加湿 | 除湿  | 一般型        | 一般型  | エアコン(暖房時) | ストーブ(暖房時) |
| ユーザ15 | 3         | 5  | 3  | 2  | 2  | 暖房  | 冷房 | 節約 | 加湿 | 除湿  | 超浪費型       | 一般型  | ヒーター(暖房)  |           |

表 3 推薦結果フィードバック表

|       | 推薦機器                           | 満足度 | コメント                       |
|-------|--------------------------------|-----|----------------------------|
| ユーザ1  | エアコン(23℃) カーペット 窓 カーテン         | 5   | 満足している                     |
| ユーザ2  | ヒーター カーペット 窓 カーテン              | 5   | エアコンよりヒーターの方が好きなので満足       |
| ユーザ3  | カーペット 加湿器 窓 カーテン               | 4   | 少し寒い気もするがおおむね満足            |
| ユーザ4  | エアコン(23℃) 扇風機 窓 カーテン           | 4   | おおむね満足だが、エアコンよりヒーターの方が良く使う |
| ユーザ5  | ヒーター 扇風機 窓 カーテン                | 5   | 普段使わない扇風機まで提示してくれてありがたい    |
| ユーザ6  | エアコン(26℃) カーペット 加湿器 扇風機 窓 カーテン | 5   | 寒いのがとても嫌いなので満足             |
| ユーザ7  | カーペット 窓 カーテン                   | 4   | 衣服や毛布で暖を取ることを考慮したら、十分満足    |
| ユーザ8  | エアコン(23℃) カーペット 扇風機 窓 カーテン     | 3   | エアコンとカーペットはどちらかでもいい        |
| ユーザ9  | カーペット 加湿器 窓 カーテン               | 5   | エアコンは使わないので、エアコン無しの結果に満足   |
| ユーザ10 | エアコン(23℃) カーペット 扇風機 窓 カーテン     | 3   | 暖房をつけるなら毛布があれば十分           |
| ユーザ11 | エアコン(20℃) 扇風機 加湿器 窓 カーテン       | 3   | 扇風機は使わない。エアコンだけで満足         |
| ユーザ12 | エアコン(23℃) カーペット 窓 カーテン         | 4   | 満足。ただし扇風機とカーペットは使わない       |
| ユーザ13 | エアコン(23℃) 扇風機 窓 カーテン           | 3   | 暖房時期に扇風機は部屋に無いので使わない       |
| ユーザ14 | エアコン(23℃) カーペット 扇風機 窓 カーテン     | 4   | この状況下でカーペットは使わない           |
| ユーザ15 | ヒーター カーペット 扇風機 窓 カーテン          | 4   | 扇風機は使わないがそれ以外は満足           |

がたい」といった意見が挙げられた。一方、不満な点としては「エアコンだけで満足なのでカーペットまではいらない」や「普段使わない機器が推薦されている」といったものが挙げられた。このことから、推薦結果がいかなる場合でも必ずユーザに受け入れられるとは限らないということも分かった。こうしたユーザからのコメントを推薦手法へフィードバックする方法については今後の検討事項となる。

## 6. おわりに

本研究では、家庭の空調サービスに焦点を絞り、ユーザ個人の嗜好に最適な空調機器操作を省エネ行動として推薦する手法について考察した。事前アンケートから、各ユーザの省エネ意識、冷房・暖房に対する要求、機器の嗜好を抽出して機器操作と消費電力に関する最適化問題を定式化・求解することで個人適応型省エネ行動を導出する。15名の被験者に対するケーススタディから全ての被験者がそれぞれ異なる嗜好を持っていることが分かった。また推薦された省エネ行動に対しおおむね満足いく推薦であることが示され、提案法の有効性が確認できたと考える。

今後の課題としては、各機器操作の環境に与える影響力や制約条件の値を正確にキャリブレーションすることが挙げられる。また、ユーザが満足いかなかった推薦結果をアルゴリズムへフィードバックさせる仕組みも必要と考える。さらに、実際のエンドユーザがサービスを利用しやすくするため、マスキリックやキー入力で容易に操作できる GUI の開発をすることでより利便性の高いサービスの提供が可能になると考えている。

謝辞 この研究の一部は、科学技術研究費(基盤研究 B

23300009, 若手研究 B 21700077, 研究活動スタート支援 22800042), および、ひょうご科学技術協会の助成を受けて行われている。

## 文 献

- [1] 経済産業省 資源エネルギー庁, "電力需給の概要 平成 21 年度版"
- [2] ECCJ 省エネルギーセンター, "家庭の省エネ大事典" <http://www.eccj.or.jp/dict/index.html>
- [3] 丸善電機, "あんしんリモコン 人感センサー" <http://www.maruzen-denki.co.jp/pickup01/feature/02.html>
- [4] SONY, "液晶テレビ BRAVIA(ブラビア)" <http://www.ecat.sony.co.jp/bravia/lineup/series.cfm?series=v5>
- [5] ECCJ 省エネルギーセンター, "次世代 HEMS の開発" <http://www.eccj.or.jp/ctrl/ECHONET-01J.pdf>
- [6] ECCJ 省エネルギーセンター, "BEMS によるエネルギー利用管理技術" [http://www.eccj.or.jp/diffusion/04/diff\\_07\\_08.html](http://www.eccj.or.jp/diffusion/04/diff_07_08.html)
- [7] 岡村 雄敬, 井垣 宏, 中村 匡秀, "ホームネットワークシステムにおける副作用を考慮した省エネ機器操作推薦手法", *IEICE Technical Report, IN2009-73, pp.029-034, 2009/11/12-13*
- [8] ミヤア先生の生活マニュアル, "電気代の節約術", <http://setuyakumanyuaru.com/kantansetuyaku/denki.html>
- [9] 誰でも出れる環境対策一覧 <http://www.cwo.zaq.ne.jp/rupisu/kan/kan600.html>
- [10] "特集: エネルギーの情報化 ~ IT による電力マネジメント," 情報処理学会誌, Vol.51, No.8, 2010.
- [11] J. Froehlich, "Promoting energy efficient behaviors in the home through feedback: The role of human-computer interaction," in *HCIC 2009 Winter Workshop Booster Paper*, February 2009.
- [12] 朝日新聞 記事 2011/06/07