

冷蔵庫における利用者の無駄行動を反映した 省資源行動促進システムの提案

村田 哲史^{1,a)} 加賀爪 翔太^{1,b)} 田口 宏明^{1,c)} 藤波 香織^{1,d)}

概要: 近年のエネルギー問題や環境問題の深刻化の影響は家庭部門にも波及し、一般家庭における省エネルギー化の推進がますます必要とされている。それに伴い、情報提示により省資源行動を促進させることを目的とした研究が盛んに行われている。既存研究では提示情報の情報源として、機器の利用量のみが用いられることが多かったが、本研究では資源消費時の「無駄」に着目し、利用者の無駄行動を情報提示に反映させる手法を提案する。無駄の反映により、利用者は自身のどの行動を改善すべきかを具体的に把握でき、より強い省資源の動機づけになることが期待できる。本稿では、ケーススタディとして、家庭用冷蔵庫における省資源行動促進のための情報提示システム PerFridge を実装し、実際の家庭への導入実験を行った結果について報告する。

キーワード: 省資源行動促進, 情報提示, 無駄行動検知, 冷蔵庫

PerFridge: Persuasive Eco-Feedback System on a Domestic Refrigerator Reflecting User's Wasteful Activities

MURATA SATOSHI^{1,a)} KAGATSUME SHOTA^{1,b)} TAGUCHI HIROAKI^{1,c)} FUJINAMI KAORI^{1,d)}

Abstract: In recent years, researchers in a HCI community try to achieve resource saving by information presentation. However, an utilization volume of electricity or water is only utilized as information resource in a traditional studies. In this paper, we present a new eco-feedback system design that reflects the behavior of wasteful usage. A PerFridge that persuades a user to conserve energy resource on a refrigerator is implemented. We examine an user study in a standard home and compare effectiveness of information reflecting wasteful usage with traditional simple amount of the resource.

Keywords: Persuasive eco-feedback, Information Presentation, Wasteful activities detection, Refrigerator

1. はじめに

近年、石油などのエネルギー資源の枯渇や二酸化炭素やオゾンなどの温室効果ガスによる地球温暖化に代表されるエネルギー問題や環境問題が深刻化してきており、社会

全体として省エネルギー化の推進が課題となっている [1]。その影響は家庭にも波及してきており、一般家庭における省資源への取り組みもますます必要とされる現状にある。この課題を解決する手段として、コンピュータが自動で家電機器を制御することによる省資源の実現を目指した研究 [2], [3], [4] や、ユーザに情報提示し能動的に省資源行動を行わせることを目的とした研究が盛んに行われている。情報提示によるアプローチでは、PC、家電などの機器 [5], [6], [7], [8] や水道 [9], [10], [11], 交通手段 [12] などの利用に焦点を当てた研究が多数行われている。これらの研

¹ 東京農工大学
Tokyo University of Agriculture and Technology, Naka-cho
2-24-16, Koganei-shi, Tokyo, 184-8588, Japan.

a) s.murata.irk913@gmail.com

b) kagatsume-tuat@gmail.com

c) hiro.taguchi.522@gmail.com

d) fujinami@cc.tuat.ac.jp

究では、効果的に利用者の省資源行動を促進するための情報提示の仕方を模索することが焦点となる。情報提示による省資源の動機づけについては、様々な情報提示手法が体系化されており、既存研究ではそれらの情報提示により電力や水に対する省資源を達成している。それに対して、本研究では利用者への情報提示による省資源行動の促進を目的として、資源消費における利用者の無駄行動を反映した情報提示システムを提案する。本稿では、そのケーススタディとして家庭用の冷蔵庫に焦点を当て、冷蔵庫利用時の無駄行動の検出を行い、情報提示を行うシステム PerFridge の実装について述べる。また、無駄行動の情報提示への反映による効果を検証するため、実際の家庭へシステムを導入し、省資源行動促進の評価実験を実施した結果について報告する。

本論文の構成について述べる。2 節では関連研究について紹介し、3 節で提案システムのコンセプトを説明する。冷蔵庫における情報提示システム PerFridge の実装について 4 節で解説し、5 節で実際の家庭への導入実験の概要と結果について述べる。6 節では実験結果から考察を行い、7 節にて今後の課題と共に本論文をまとめる。

2. 関連研究

Markus, et al[7] は、家庭やオフィスにおける機器ごとの消費電力量を計測しインターネット上に集約することで、PC や携帯端末から情報を閲覧できるシステムを実現した。ユーザが電力情報を自由に閲覧可能な仕組みを用意し、能動的に省資源行動を起こさせることが目的である。また、単純な数値やグラフではなく、メタファイラストによる暗示的な視覚表現や機器自体の形状や色の変化を用いて、周囲の環境に溶け込み直感的に内容を伝えることを意図した情報提示 (Ambient Display) に関する研究も多く存在する [6], [8], [9], [10], [11], [12], [13]。Stacey, et al.[10] は、水の節制のための情報提示において数値による明示的な表現と色を用いた暗示的な表現のどちらが省資源への動機づけに効果的であるかをユーザ実験により明らかにした。Kim, et al.[8] は、PC の利用時間を例として、単なる数値による情報提示ではなく利用時間の長短に応じてサンゴの活性と衰弱を表現することで環境破壊をユーザに暗示する Coralog システムを実装し、メタファを用いて電力情報を提示することの有効性を示した。Shiraishi, et al.[14] は、SNS ベースの情報共有システム EcoIsland を開発し、Web サイト上でユーザに省資源に関わる行動を手動入力させ、他者と情報を共有することで省資源の意識を高める試みを行っている。

これらの研究は、対象資源の利用状況を何らかの形で可視化することで、利用者の省資源に対する意識を変化させることの有効性を示している。一方、これらの研究で情報提示に用いられているのは 1 日の水の消費量や機器の利用

回数、利用 1 回あたりの電力量といった一定期間内に利用者によって消費された資源量そのものである場合が多い。本研究では、情報提示に用いる情報源として単純に資源消費量を用いるのではなく、資源消費時の利用者の無駄行動を反映した情報提示を行うことに焦点を当てる。

3. 利用者の無駄行動を反映した省資源行動促進システムの提案

3.1 設計上の検討事項

(1) 情報提示における無駄行動の反映

2 節で述べたように、情報提示により利用者の省資源に対する意識や行動を促進させる試みは数多く行われている。また、実際のユーザ評価実験を通じて、動機づけに対して効果的だとされる様々な情報提示手法が考案されている。一方、既存研究において提示情報の情報源として用いられているのは、そのほとんどが対象資源の単純な利用量であった。例えば、1 週間ごとの電力利用の積算値や 1 日の機器の利用回数や水の消費量などの一定期間内に利用者によって消費された資源量である。しかし、単純な資源の利用量の提示だけでは利用者が自身のどの行動を改善すれば省資源に繋がるのかを判断することは難しい。この問題に対して、我々は利用者へ改善すべき行動を明示する情報提示を行うことで、省資源行動の実施に繋がると考えた。

そこで、本研究では、対象資源を消費する際の利用者の「無駄な行動」に焦点を当て、情報提示の情報源として選択する。無駄行動を反映した情報提示により、利用者はより具体的に自らの改善すべき行動を意識することができ、省資源行動の実施に繋がりがやすくなることが期待される。

(2) 無駄判断における主観要素取得の必要性

無駄な資源利用とは、必要のない場面で対象資源の消費が行われることを指す。しかし、必要か不必要かは利用者の持つ省資源への意識の程度や利用者の置かれた状況に強く依存するため、コンピュータが一意的に決定することは難しい課題であるといえる。

例えば、冷蔵庫においてドアを長時間開けていることは庫内の温度を上昇させ、消費電力の増大に繋がる。しかし、単純に経過時間を閾値として無駄と判断した場合には、利用者の目的や置かれた状況などの主観的要素が考慮されていないため、システムに対する不満に繋がりが得る。よって、利用者の無駄な行動を反映した情報提示を行うためには、利用者の利用目的や置かれている状況などの主観的要素を取得し、無駄の判断に活用することが必要となる。4 節にて、冷蔵庫をケーススタディとして無駄に対する主観的要素へのアプローチの一例を示す。

3.2 システムデザイン

本研究で提案する省資源行動促進システムでは、利用者の無駄行動を反映した情報提示を行うことを特徴とする。

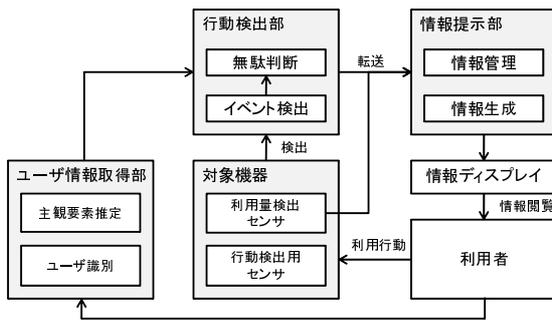


図 1 無駄行動を反映した情報提示システムのコンセプト

Fig. 1 Framework of persuasive information presentation system that reflects a user's wasteful activities

提案するシステムのコンセプトを図 1 に示す。

提案システムは、主に対象機器、ユーザ情報取得部、行動検出部、情報提示部、情報提示デバイスという 5 種類の要素から構成される。対象機器とは、テレビ、冷蔵庫、エアコン、電灯などの機器や水道の蛇口、シャワーなどとそれらを取り巻く周囲の外環境を指す。対象機器には、資源利用量を計測するためのセンサ（利用量検出センサ）および利用者の行動を監視し無駄であるか否かを判別するためのセンサ（行動検出用センサ）が付加される。これらのセンサ群は、機器に直接付与されるか周囲の環境に配置される。ユーザ情報取得部では、ユーザ識別と主観要素推定が行われる。先述したように、ここでいう主観要素とは、利用者の行動意図や利用者が置かれている状況を指す。行動検出部では、設置されたセンサ群の計測情報を管理し、あらかじめ設定された条件に従ってイベントを発生させる。各センサから得られた粒度の細かいイベントを組み合わせることで、より高度なイベントの検知を行う。また、検出イベントとユーザ情報取得部によって取得された情報を組み合わせることで利用者の無駄行動の判断が行われる。情報提示部では、行動検出部から送られたイベントデータをもとに利用者への提示情報を生成する。生成された情報は情報提示デバイスによって利用者に関連される。

4. 冷蔵庫における省資源行動促進システム PerFridge の実装

4.1 冷蔵庫利用時の無駄定義

3 節にて、利用者の無駄行動を反映した情報提示システムのデザインを示した。本節では、そのケーススタディとして、一般家庭向けの電気冷蔵庫において省資源行動を促進するシステム PerFridge の実装について述べる。今回は冷蔵庫利用時の無駄として、一般的に無駄だと言われている「ドアの開閉に関する無駄」、「詰め込み状態に関する無駄」、「食品の温度に関する無駄」の 3 種類に大まかな分類を行った [15]。ドアの開閉に関する無駄とは、利用者にとって必要でないと考えられるドアの開閉行動によって消費電力が増大することを指す。この無駄は、ドアを開ける

ことで庫内に外気が侵入し温度が上昇することで消費電力が増加することに起因している。詰め込み状態に関する無駄は、食品が庫内に過度に存在することで冷気の循環が滞るため、結果的に消費電力を増加させることが原因である。また、食品の温度に関する無駄であるが、これは温度の高いものを冷却するために余分な電力消費が発生するためである。これらの無駄を具体例を交えてまとめると、表 1 のようになる。

今回実装を行ったプロトタイプシステムでは、表 1 の中で、最も発生頻度が高いと考えられる「ドアの開閉に関する無駄」の 3 種類の無駄行動を対象とした。

4.2 ドアの開閉に関する無駄行動の検出

(1) 長時間ドアを開けること

3.1 節で述べたように、長時間ドアを開けることは、単純に経過時間で無駄判断を行うと利用者の不満を招くリスクを伴う。そこで、今回はセンサによって計測した「接触率」と利用者から手で入力された「行動意図」の情報を組み合わせることで無駄の判断を行う方法をとる。利用者が食品を出す/入れるなど庫内の食品と接触している時間を接触時間とし、ドアを開けていた総時間に対する接触時間の割合を接触率と定義する。接触率は、利用者が冷蔵庫を開け閉めする上でどの程度作業を行ったかという指標となり、算出された接触率が一定以下である場合、その行動を素早く行うべきであるという意味で無駄と判断することとした。これは、出す/入れるなど少なくとも庫内の食品と接触している間は利用者にとって必要な行動であるという仮定に基づいている。

しかし、接触率による無駄判断だけでは、中身を「確認する」という行動を考慮できていない。確認動作は調理時の材料の確認や、買い物前に庫内に残っている食品の確認など、利用者にとって必要である場合が多い。よって、利用者の行動意図が確認動作である場合には無駄の判定から除外する。これらの仕組みによって、無駄に対する誤った判断を軽減できると考えられる。以上より、利用者の行動が条件式 (1) を満たした場合、無駄であると判断される。また、接触率の閾値 T については式 (2) によって決定するものとした。ここで、 $\bar{r}_{contact}$ は利用者から収集された接

表 1 冷蔵庫利用時の無駄定義

Table 1 Definition of wasteful activities in a refrigerator

無駄の大まかな分類	具体例
ドア開閉に関する無駄	長時間ドアを開ける 短時間での過度な回数の開閉を行う 利用者がいないのにドアを開け放す
詰め込み状態に関する無駄	庫内に食品を詰め込み過ぎた状態 庫内の食品が偏って置かれた状態 冷気口を塞ぐように食品を配置する
食品の温度に関する無駄	高温度の食品を入れる

触率の平均を表し、 σ はその標準偏差を意味する。詳しくは、4.5 節にて述べる。

$$if\left(\frac{t_{contact}}{t_{total}} < T \ \&\& \ intention \neq "check"\right) \quad (1)$$

$$T = \bar{r}_{contact} - \sigma \quad (2)$$

(2) 短時間での過度なドアの開閉

短時間で過度にドアを開け閉めすることは、食品の出し忘れや入れ忘れによって発生することが多い。つまり、無駄なのは複数回同じ目的でドアを開け、本来ならばまとめて一度で作業を行うケースである。そのため、単純に一定期間内のドアの開閉回数のみで無駄を判断することは不十分である。そこで、ユーザ識別と行動意図の情報を活用し、特定の利用者が、同じ目的をもって一定時間内に閾値以上の回数のドアの開け閉めを行った場合に、無駄であると判断する。この場合にも、行動意図の情報を活用することで、無駄判断の誤検出の一部を防ぐことが可能である。

(3) ドアの開け放し

一方、ドアの開け放しは、先述した2つの無駄行動に比べて、含まれる主観要素が比較的少なく、自明的な無駄であるといえる。すなわち、ユーザ識別によって誰がその行動をしたのかを把握できれば、行動の意図に関わらず無駄であると判断することができる。

4.3 ユーザ識別と行動意図入力

本節では、今回無駄行動の検出に利用するユーザ識別機能と行動意図入力について述べる。ユーザ識別の実現には、例えば顔認識や生体情報（身長/体重/指紋認証）、ドアの開け方によるパタン認識など幾つかの方法が考えられる。また、行動意図についても脳波などによりコンピュータが一定程度の計測が可能であると考えられる。しかし、これらの方法はコストや精度の観点で問題がある。そこで、今回のケーススタディでは、最も単純な方法である利用者からの能動的な入力方法を選択する。この方法は非常にシンプルであり頑健性も高いが、利用者が面倒に思う可能性がある。そこで、手動での情報入力による利用者の負荷を今回の評価指標の1つとした。

行動意図入力に関しては、なるべく利用者への負担を減少させるため、入力の選択肢の数は最小限にすべきだと考えた。まず、確認動作の選択肢は長時間ドアを開けるという無駄において誤検出を防ぐために必要である。また、食品を「出す」「入れる」という動作は別々に分ける必要がある。なぜなら、短期間に過度な回数ドアを開けるという無駄の検出において、利用者が同じ目的であるかどうかを識別するために使われるからである。これらの理由より、今回は「出す」「入れる」「確認する」の3種類の選択肢を用意した。利用者は冷蔵庫のドアを開ける前に行動意図入力として3つの選択肢のうち1つを選ぶ。

4.4 ユーザインタフェース

冷蔵庫のドアに設置されたタッチパネル上にはシステムからの情報が表示され、利用者の動作に応じて図2のように遷移する。初期状態では、登録された複数の利用者全員のデータをまとめたグループ用のGUI (a) が表示されている。具体的な表示内容としては、その日の電力利用量（文字、グラフ）、グループ全体のドアの総開閉回数（文字）と平均開閉時間（文字、グラフ）である。利用者が冷蔵庫の前に立つと、冷蔵庫に設置されたタッチパネル上にユーザ識別を行う画面 (b) が表示される。ユーザ選択が行われると、次は行動意図入力を選択する画面 (c) に遷移する。この2つの手動入力が終わると、選択されたユーザの個人データが表示されたGUI画面 (d) に移る。個人用GUIでは、ドアの開閉回数と無駄行動の回数、平均開閉時間が表示される。その後は、利用者がドアを開け、目的に従って作業を行う。その際には、設置されたセンサによって利用者の行動の監視が行われ、行動の無駄判断が行われる。

ドアを閉めた際にその行動が無駄だと判断された場合には、タッチパネル上に新たなウィンドウ (e) が生成され、利用者の行動が無駄だと判断されたことと、その判断理由を記したメッセージが表示される。そして、個人用GUI (f) が更新され、無駄回数が増加する。

4.5 システムの実装

PerFridgeには、利用量の検出および無駄判断のための行動検出を目的として、冷蔵庫内外に複数のセンサが設置される (Fig.3)。また、情報提示、ユーザ識別および行動意図入力に用いられるタッチパネルディスプレイ (IODATA Inc. LCD-USB10XB-T, 10.1 inch) は冷蔵庫のドア (Fig.3(a) 中央部) に設置される。利用量検出センサである電力量センサ (Energy Optimizer Inc. Plogg) は、冷蔵庫のプラグ部分に設置され、消費された電力量を15分ごとに計測し、情報提示モジュールに送信する。

長時間ドアを開けている無駄に対して、今回のケーススタディでは行動意図情報および接触率を用いて判断することを述べた。接触率を計算するためには冷蔵庫に食品を出し入れしているか否かを検出する必要がある。そこで、今回は赤外線 (IR) 距離センサを用いて利用者の作業状態を検出することとした。IR 距離センサは直線方向に赤外光を照射し、反射した光の往復時間によって物体との距離を検出している。冷蔵庫の天井やドアポケットの境界面にセンサを線状に配置しておくことで、センサの検出距離の変化を利用して利用者の手が境界面に侵入したことを検知する。システムの実装を行った冷蔵庫のサイズに合わせ、合計14個のIR 距離センサ (Sharp Inc. Distance Sensor 2Y0A02: 20-150 cm, 2Y0A21: 10-80 cm) を使用した (Fig.3(b))。また、庫外に設置されたIR センサは、利用者が冷蔵庫の前に立っているかどうかを検出する役割を持つ。磁力センサ

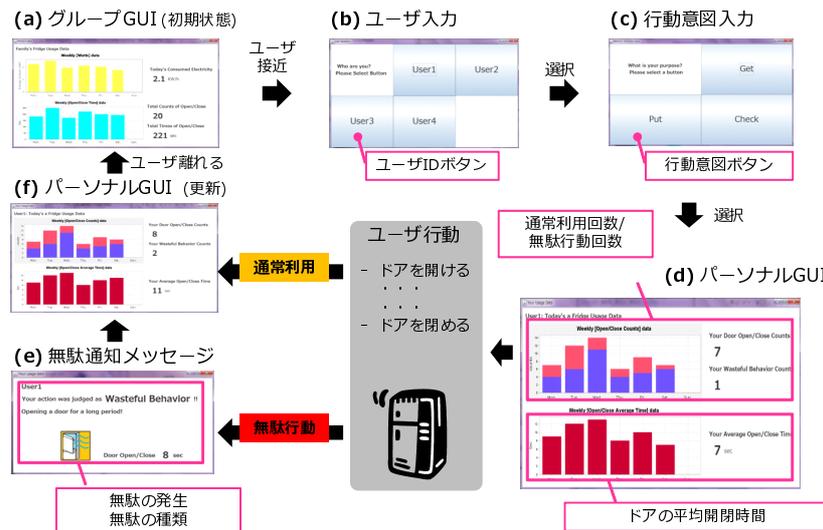


図 2 ユーザインタフェースの遷移の流れ
Fig. 2 Flow of the changes in a user interface

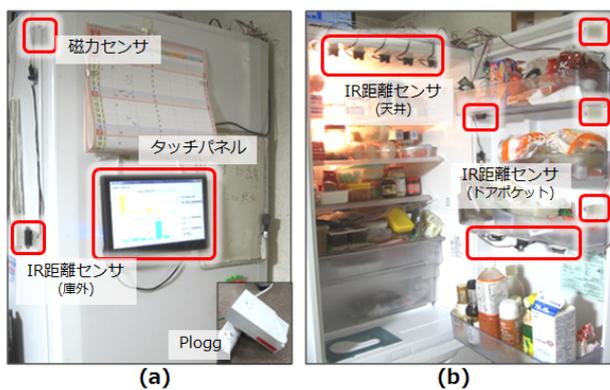


図 3 冷蔵庫へのセンサおよびディスプレイ配置
Fig. 3 Arrangement of Sensors and Display

(Phidgets Inc. Magnetic Contact Switch BR-1014) はドアに設置されており、開閉の状態を検出する役割を持つ。

式 (1) における接触率の閾値 T については予備実験より決定した。この予備実験では、実験者があらかじめ用意したタスク (食品の出し入れ) を 3 人の被験者に対して指示し、その際の接触率を記録した。そして、式 (2) に従って閾値 $T = 0.32$ を決定した。また、短時間に複数回ドアを開け閉めするという無駄にはタッチパネルにより入力されたユーザ情報と行動意図情報が用いられる。今回は、監視区間を 5 分間とし、その間に特定の利用者が 3 回以上同じ目的の行動を行った場合に、それらの行動は一度にまとめられると考えられるため無駄と判断するように設定した。ドアを開け放すという無駄は、庫外に設置された IR 距離センサによって利用者がいないという状態と磁力センサよりドアが開いているという状態が重なった際に検出される。

5. システム評価実験

5.1 実験概要

省資源のための情報提示において、無駄行動を反映させることの効果を検証するため、プロトタイプシステムを実装しユーザ評価実験を行った。

システムは 4 人家族の実験者の家庭に導入され、実験者本人を除くと被験者数は 3 名であった。なお、冷蔵庫は Mitsubishi Electronic Inc. の MR-CU37N (179 × 60 × 64 cm) を使用し、計測対象は冷蔵室のみとした。システムは、まず従来研究と同じように機器の利用量を用いて情報提示を行うシステム (利用量型) で 1 週間運用された。続けて、本研究で提案する無駄な行動を情報提示に反映させるシステム (無駄行動反映型) で 1 週間の運用を行った。なお、実験中の 2 週間においては、被験者の生活行動に影響を与える大きなイベント (臨時休日や旅行) は無かったことを付け加えておく。利用量型で提示される情報は、無駄行動反映型における無駄行動の通知メッセージを除いたものである。

実験の評価項目としては、計測した定量データ (利用電力量、ドアの平均開閉時間、ドアの開閉回数) および評価アンケートである。アンケート項目は表 2 に示すとおりである。各項目は 5 段階のリッカート尺度であり、5 が「とてもそう思う」、3 が「どちらとも言えない」、1 が「まったくそう思わない」とした。

2 種類の情報提示による利用者の意識や行動の変化を比較するため、質問 1~3 は、1 週目の利用量型システムの運用終了時と、2 週目の無駄行動反映型システムの運用が終了時にそれぞれ実施した。無駄行動反映型システムについては、今回定義した冷蔵庫利用時の無駄に対する利用者の

表 2 アンケート内容

Table 2 Contents of a questionnaire

番号	質問項目
1	節電への意識は向上したか
2	実際の節電行動に繋がったか
3	システムを長期間利用したいか
4	検出された無駄行動に納得できたか
5	タッチパネルによる入力は負担だったか

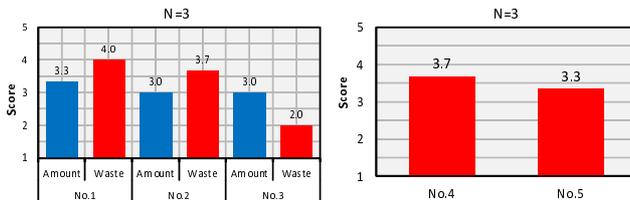


図 4 アンケート結果 (左: 質問 1-3, 右: 質問 4, 5)

Fig. 4 Result of questionnaire (left: question 1 to 3, right: question 4 and 5)

捉え方も確認するため、無駄に対して納得できたかを問う項目も加えた (質問 4)。また、タッチパネルによるユーザ識別と行動意図入力に対して利用者が許容していたかを確認する項目 (質問 5) も無駄行動反映型システムの運用終了時に質問した。

5.2 実験結果

5.2.1 アンケート評価結果

表 2 における質問 1~3 について、利用量型と無駄行動反映型の評価結果を比較したものを図 4 に示す。図 4 の質問 1, 2 の結果より、利用量型に比べて無駄行動反映型の方が節電に対する意識の向上と実際の節電行動の実施に繋がりが易い可能性が示唆された。一方で、質問 3 では、無駄行動反映型の方が評価が低くシステムの長期利用はしにくいという結果となった。

質問 4 に対する評価スコアは、平均で 3.7 点であった。これは、システムが検出し提示した無駄行動に対して、被験者がある程度許容したという傾向を示している。また、質問 5 に対する評価スコアは、平均で 2.7 点となった。この結果より、ドアを開ける前にタッチパネル上でユーザ識別と行動意図を入力することに対して、被験者は入力による負担が大き過ぎないと感じていることが分かる。

5.2.2 定量データ分析

(1) 消費電力

定量データ分析を行った結果として、まず利用量型と無駄行動反映型の 2 種類を 1 週間ずつ運用した際の冷蔵庫の 1 日ごとの消費電力について、図 5 に示す。図 5 より、消費電力の時系列変化が確認できるが、2 種類のシステムについて大きな差は見られない。計測結果について検定を行ったところ、今回の実験中に得られた消費電力に関しては有意差は確認されなかった ($p > 0.05$)。

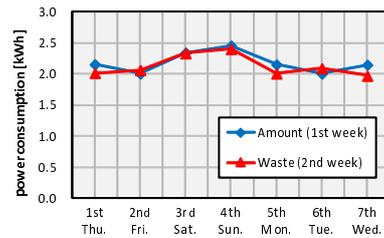


図 5 冷蔵庫の消費電力の推移

Fig. 5 Power consumption data

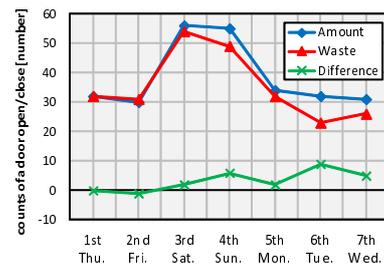


図 6 ドアの開閉回数の推移 (被験者平均)

Fig. 6 Measured counts of a door open/close

(2) ドアの開閉回数

冷蔵庫のドアの開閉回数について、2 種類の情報提示の仕方における被験者 3 人の 1 週間分の平均値を図 6 に示す。図 6 より、1 週間の中でそれぞれのドア開閉回数は似通った変化をしていることが確認できる。

また、両者の差分について見ると、無駄行動反映型システムでは日数が経過するにつれて利用量型との差が開いていき、開閉回数が減少していく傾向があることも確認できる。なお、利用量型と無駄行動反映型のドア開閉回数について検定を行ったところ、両者の間に有意な差が確認された ($t(2) = 1.78, p < .05$)。

(3) ドアの平均開閉時間

ドアの平均開閉時間について、2 種類の情報提示の仕方における被験者 3 人の 1 週間分の平均値を図 7 に示す。

また、両者の差分について見ると、無駄行動反映型システムでは日数が経過するにつれて利用量型との差が開いていき、平均開閉時間が僅かに減少する傾向があることも分かる。なお、利用量型と無駄行動反映型のドアの平均開閉時間について検定を行ったところ、両者の間に有意な差が確認された ($t(2) = 2.18, p < 0.05$)。

6. 考察

6.1 無駄行動を反映した情報提示の効果

被験者 1 (P1, 50 代女性, 主婦) に無駄行動を反映した情報の影響について尋ねたところ、P1 は提示された情報に対して大きな不満はなく、自身の行動を改善するきっかけになったと答えた。この意見は実際の P1 の定量データか

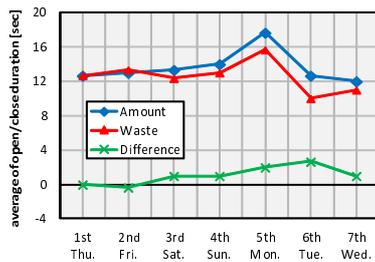


図 7 ドアの平均開閉時間の推移 (被験者平均)

Fig. 7 Measured average of a door open/close duration

らも裏付けられている。利用量型と比較した場合の無駄行動反映型のドア開閉回数は-17.1%であり、平均ドア開閉時間は-11.6%であった。以上より、P1は無駄行動を反映した情報提示により意識の変化だけでなく行動変容が起こったと考えられる。

また、被験者2(P2, 20代男性, 学生)にインタビューを行ったところ、P2は提示された自身の無駄行動に意識を持つだけでなく、自分自身の行動を振り返るきっかけになったと答えた。そして、「何となく無意識に」ドアを開けることが多いが、自分のこの行動は無駄ではないか、との新たな無駄行動定義の提案を受けた。

6.2 無駄行動を反映した情報提示の問題点

一方、被験者3(P3, 50代男性, 会社員)にインタビューを行ったところ、無駄行動を反映した情報提示が煩わしいと感じたとの意見を得た。その理由として、P3は自分の行動を無駄だとは感じず、省資源行動による手間よりも自らが快適に生活する方を優先したと答えた。実際に、P3はアンケート評価に対して低評価であり、定量計測データにおいても削減率はほとんどゼロであった(ドア開閉回数:-3.2%, ドアの平均開閉時間:+1.2%)。この結果に対して、我々はP3が他の被験者に比べて省資源に対する意識が低いことが原因なのではないかと考えた。

そこで、GreenDex[16]と呼ばれるエコに対する意識調査に用いられているアンケートのサブセット(40問)により、各被験者の省資源に対する意識を追加調査した。その結果、P3は他の被験者に比べて省資源への意識が大きく低いことが明らかになった(P1: 54点, P2: 52点, P3: 35点, 日本平均: 49.7点)。よって、今回実装を行った無駄行動反映型の情報提示は、省資源への意識が低い利用者に対しては効果が薄い可能性が示唆された。さらに、P3はシステムの長期利用に対するアンケートに対して1.0点という非常に低い評価をしている。すなわち、省資源の意識が低い被験者に対して提案する情報提示を行うと、提示内容に抵抗を覚え、利用量のみを提示していた場合よりもシステムを利用してもらえなくなる危険性も示唆された。

6.3 消費電力に影響がなかった原因

無駄行動反映型を導入した1週間分の消費電力は、利用量型の導入時と比較して有意な差は確認されなかった。その理由としては2つ考えられる。1つは、今回のユーザスタディで行動変容が確認されなかったP3による影響である。P3は定量データに関してマイナスの削減率の項目も存在したため、P1, P2による省資源行動の効果が薄まった可能性がある。

また、もう1つは他の無駄行動による影響である。今回の実験では、発生頻度が高いという理由からドアの開閉に関する3種類の無駄行動を対象としたが、他の2種類の無駄(詰め込みに関する無駄, 食品の温度に関する無駄)が発生しており、それらの消費電力に対する影響が強かった可能性もある。

6.4 無駄行動によって消費された資源量の提示

提示される情報内容について被験者にインタビューを行ったところ、P1からより具体的に自身の行動による影響を知りたいため、無駄行動によってどれだけの金額が損失したのかという情報が欲しいとの意見を得た。損失した金額を算出するには、無駄行動によって消費された電力量を把握する必要がある。しかし、冷蔵庫は他の多くの機器とは違い、常に電力を消費し続ける構造である。そのため、利用者の行動によって余分に消費された電力量を推定することは難しい問題であるといえる。現状では、計測方法の一案としてあらかじめ外気の侵入が無い状態でインバータの稼働周期を計測しておき、検出された現在の周期と比較して差分を計算する方法を検討している。ただし、この方法では周期情報を取得するために1時間程度要するため、リアルタイムに情報を提示することが困難になる。また、周期の計測中に他利用者がドアを開けた場合には、その影響も連鎖的に考慮する必要がある。

6.5 能動的な情報入力方法について

アンケート結果(質問5)から、全体として被験者はこの入力方法に対して比較的大きな負担は感じていないことが分かった。一方で、4.0点という低評価をつけていたP2にインタビューを行ったところ、パネルそのものが押しづらく何度も押さなければならないことがあったため負担に感じたとの意見を得た。これはパネル入力への負担ではなくパネルそのものが原因であると考えられる。そこで、パネルを押すという動作自体は面倒に感じたかと質問したところ、はじめは面倒だったが時間の経過とともに習慣化したため2週間の実験終了間際には特に気にならなくなったとの意見が得られた。よって、今回採用したタッチパネルによる情報入力方法は概ね利用者に受け入れられたものと考えられる。また、長期間システムを利用することで能動的な入力が習慣化する可能性も示唆された。この結果は、利

用者の能動的入力によって行動意図の情報を取得することに対する一定の妥当性を示している。

6.6 課題と展望

システムの導入実験の結果から、無駄行動を反映した情報提示の様々な利点や欠点が確認された。しかし、今回のユーザスタディは被験者が3人と非常に少なかったため、それらの結果は全ての利用者に対して効果を保証するものではない。そこで、次の段階として被験者数を増やし、複数の一般家庭にシステムを導入し無駄行動反映型情報提示の効果を検証する予定である。

ユーザスタディの結果より、無駄行動を反映した情報提示を省資源の意識が低い利用者へ適用すると逆にシステムを利用してもらえなくなる危険性があることが分かった。そこで、そのような被験者に対しても行動変容を起こさせる情報提示の仕組みが必要となる。現状では、自身の無駄行動とともにそれによって起こる結果をより強調する手法を考えている。例えば、環境破壊や金銭の損失の情報を併せて提示することで、利用者の省資源に対する意識を変化させることが狙いである。また、情報提示に拒否感を持つ被験者に対して、人間心理学の原理に基づき、無駄をせずに利用した場合にそれを褒めるといった情報提示の手法も検討していく。

新たな無駄の検出についても今後検討を進める。例えば、食品の詰め込みすぎや食品の配置に偏りについて複数の温度センサによる判断方法を検証中である。冷蔵庫ではインバータの稼働により周期的に温度が変化するが、食品の量や配置が冷気の循環に影響を与えることが確認されている。また、インタビューで被験者より新たに提案された「曖昧な目的でのドア開閉」という行動について今後無駄の定義や検出方法について検討していく予定である。現状では、行動意図入力をさらに細分化し、目的の具体性も検出できるような仕組みを導入したいと考えている。

7. おわりに

本稿では、提示情報の情報源として利用者の無駄行動に焦点を当てた省資源行動促進システムを提案した。また、ケーススタディとして家庭用の冷蔵庫に焦点を当て、利用者の無駄行動を検出し情報提示を行うシステム PerFridge の実装について述べた。

そして、既存研究と同様に利用量のみを情報提示した場合と無駄行動を反映した情報提示を行った場合の2種類について実際の家庭にシステムを1週間ずつ導入しユーザ評価実験を行った。利用者の主観評価結果より、提案手法では省資源に対する意識の向上だけでなく実際の省資源行動に繋がり易い可能性が示唆された。また、定量的なデータ分析より、消費電力には影響がなかったが、ドアの開閉回数やドアの平均開閉時間について無駄行動を反映した情報提示を行った方が有意に低くなる結果が確認された。

謝辞 本研究は日本学術振興会とフィンランドアカデミーとの二国間交流事業（共同研究）による支援を得た。

参考文献

- [1] International Energy Agency: Key World Energy Statistics 2011, IEA Books (2011).
- [2] James Scott, A.J. Bernheim Brush, et al.: PreHeat: Controlling Home Heating Using Occupancy Prediction, In *Proc. Ubicomp'11*, pp. 281–290 (2011).
- [3] Takekazu Kato, Kenji Yuasa and Takashi Matsuyama: Energy on Demand: Efficient and Versatile Energy Control System for Home Energy Management, In *Proc. SmartGridComm'11*, pp. 410–415 (2011).
- [4] Colin Harris and Vinny Cahill: An Empirical Study of the Potential for Context-Aware Power Management, In *Proc. Ubicomp'07*, pp. 235–252 (2007).
- [5] Magnus Bang, Carin Torstensson and Cecilia Katzeff: The PowerHouse: A Persuasive Computer Game Designed to Raise Awareness of Domestic Energy Consumption, In *Proc. Pervasive'06*, pp. 123–132 (2006).
- [6] Anton Gustafsson and Cecilia Katzeff: Evaluation of a Pervasive Game for Domestic Energy Engagement Among Teenagers, In *Proc. ACE'08*, pp. 232–239 (2008).
- [7] Markus Weiss and Dominique Guinard: Increasing Energy Awareness Through Web-enabled Power Outlets, In *Proc. MUM'10*, Article No.20 (2010).
- [8] Tanyoung Kim, Hwajung Hong and Brian Magerko: Design Requirements for Ambient Display that Supports Sustainable Lifestyle, In *Proc. DIS'10*, pp. 103–112 (2010).
- [9] Ernesto Arroyo, Leonardo Bonanni and Ted Selker: Waterbot: Exploring Feedback and Persuasive Techniques at the Sink, In *Proc. CHI'05*, pp. 631–639 (2005).
- [10] Stacey Kuznetsov and Eric Paulos: UpStream: Motivating Water Conservation with Low-Cost Water Flow Sensing and Persuasive Displays, In *Proc. CHI'10*, pp. 1851–1860 (2010).
- [11] Matthias Laschke, Marc Hassenzahi, et al.: With a Little Help from a Friend: A Shower Calender to Save Water, In *Proc. CHI'11*, pp. 633–646 (2011).
- [12] Jon Froehlich, Tawanna Fillahunt, et al.: UbiGreen: Investigating a Mobile Tool for Tracking and Supporting Green Transportation Habits, In *Proc. CHI'09*, pp. 1042–1052 (2009).
- [13] David Holstius, John Kembel, et al.: Infotropism: Living and Robotic Plants as Interactive Displays, In *Proc. DIS'04*, pp. 215–221 (2004).
- [14] Miyuki Shiraishi, Yasuyuki Washio, et al.: Using Individual, Social and Economic Persuasion Techniques to Reduce CO2 Emissions in a Family Setting, In *Proc. Pervasive'09*, pp. 1–8 (2009).
- [15] Agency of Natural Resource and Energy: The Catalog of Energy Saving Performance in 2011 Summer Edition (in Japanese) (2011).
- [16] National Geographic: GreenDex: Consumer Choice the Environment – A Worldwide Tracking Survey, <http://environment.nationalgeographic.com/environment/greendex/>