

スマート端末からの状況情報で自動的に小型冷蔵庫を制御するIoTシステム“KADEN”の開発

宗森 純^{1,a)} 増野 宏一² 伊藤 淳子¹

受付日 2018年5月6日, 採録日 2018年11月7日

概要: 本研究ではスマート端末からのユーザーの状況情報（位置情報、心拍情報、歩行数）がある条件を満たした場合、小型冷蔵庫に飲料があるかどうかを確認し、ある場合は自動的にスイッチが入りユーザーに知らせるIoTシステム“KADEN”を提案する。“KADEN”はスマートウォッチとスマートフォンのセンサにより各種状況情報を取得する。また小型冷蔵庫に飲み物があるかどうかセンサにより自動的に検出できる。各種センサを用いて自動的に冷蔵庫を制御する場合と手動で制御する実験を行った。実験を行った結果以下のことが分かった。(1) システム全体の評価では状況情報を用いて自動的に小型冷蔵庫を制御する場合と手動で制御する場合では有意差はなかった。(2) 状況情報で必要と思われるのは位置情報、歩行数、心拍情報の順である。(3) スマートウォッチのユーザビリティの評価は高かった。(4) 飲み物があるかどうか自動的に分かることの評価が必要性と便利さの面で高かった。

キーワード: IoT, スマートウォッチ, 心拍数, 位置情報, ペルチェ素子

Development of an IoT System “KADEN” Controlling for a Small Refrigerator Automatically by Situation Information from Smart Terminal

JUN MUNEMORI^{1,a)} KOUICHI MASUNO² JUNKO ITOU¹

Received: May 6, 2018, Accepted: November 7, 2018

Abstract: We propose an IoT system “KADEN”. The system checks if there is any drink in the small refrigerator if the situation information (Position information, heart rate information, walking number) of the user’s smart terminal satisfies certain conditions. If there is a drink, switch on cooling and let the user know. “KADEN” acquires various situation information by sensors of a smart phone and a smart watch. In addition, the system can detect whether there is a drink in the small refrigerator by a sensor automatically. We performed experiments to control the refrigerator by automatic control and manual control. The results of experiments were shown below. (1) In the evaluation of the entire system, there was no significant difference between when automatically controlling the small refrigerator using situation information and when controlling it manually. (2) What seems to be necessary in the situation information is the order of position information, walking number, heart rate information. (3) The usability evaluation of smart watch was high. (4) Evaluation of automatically knowing whether there is a drink was high in terms of necessity and convenience.

Keywords: Internet of Things, smart watch, heart rate, position information, Peltier element

¹ 和歌山大学システム工学部
Faculty of Systems Engineering, Wakayama University,
Wakayama 640–8510, Japan

² 和歌山大学大学院システム工学研究科
Graduate School of Systems Engineering, Wakayama Uni-
versity, Wakayama 640–8510, Japan

^{a)} munemori@sys.wakayama-u.ac.jp

1. はじめに

近年、家の中の様々な家電をインターネットと接続して制御するIoT家電（スマート家電ともいう）が普及しはじめ、研究されてきている [1]。たとえば、インターネットに接続されている家電をスマートフォンを用いて制御する

ことで、遠隔地から家の中にあるテレビ、エアコンや照明器具などの電源を入れたり消したりすることができるようになった [2]。また、スマート端末であるスマートフォンやスマートウォッチの出現により、位置情報だけでなく、歩行数、心拍数などの状況情報が容易に取得できるようになってきた。中でもスマートウォッチは小型・軽量であり、常時身に付けることができ、利用者に負担をかけずに心拍情報を取得でき、画像や振動で出力を表現できる可能性がある。

スマート家電の問題点として、外出先でスマートフォンを用いて家電を制御しようとする、(a) 操作するのを忘れてしまったり、(b) 手があいていないと操作できないといったことが起きる可能性があげられる。よりいっそう生活環境を便利にするためには、自動化を進め、ユーザの負担を軽減させる必要がある。

また、生活環境が便利になってきている一方で、環境問題や大量消費問題、大量廃棄問題などが生じている [3]。さらに、エコへの関心が集まってきており、環境のことを配慮した行動が求められてきている [4]。これより、(c) この問題を解決するためにエコロジーとエコノミーの両方に貢献することができるエコなシステムを開発する必要がある。

本研究の目的は、スマート家電の問題点である上記 (a)、(b)、(c) を解決することにある。そのため、スマート端末を用いて、スマート家電（ここでは小型冷蔵庫）の制御を簡単なものとするにより、よりいっそう生活環境を便利にするとともにエコにも配慮することにある。そのため、スマートフォンと手に持つ必要がなく使用者に負担が少なくと考えられるスマートウォッチを用いて心拍数、位置情報、歩行数などのユーザの複数の状況情報の取得を自動で行い、これら情報をもとに家電を制御し、家電の方の状況もセンサを用いて情報の取得を自動で行い使用者のスマートウォッチに通知する双方向なシステムを開発し、生活環境を便利にすることができたか、エコであるかを実験により評価を行う。

ここで、状況情報として心拍数、位置情報、歩行数を使った理由を以下に示す。この研究では冷蔵庫内に缶ジュースがあり、それを冷やすタイミングを状況情報により決定する。飲み物を飲みたくなるのはたくさん歩いて喉が乾いた場合と考えた。心拍数はその時点で安静にしているのか、歩いているのかのおおよその判断材料となるが、どのくらい歩いて喉が渇いているかは心拍数からは直接は分からない。そこで運動の蓄積を示す歩行数を採用し、多く歩いたら喉が乾くのではないかと判断をし、歩行数を採用した。位置情報に関しては、どの時点で小型冷蔵庫のスイッチを入れるか判断するために使っている。

本研究では最終的に、本システムの家電制御の自動化は有効なのか、扱っているどの情報が重要なのか、スマートウォッチはユーザインタフェースとして適切か、エコには

何が必要なのかを明らかにする。

2章では、IoT家電（スマート家電）に関する知見を、ユーザの状況に応じた家電の制御、構築したシステムのユーザビリティ、省エネシステムの観点から述べる。3章では、それらの知見をふまえ、スマートフォンとスマートウォッチでユーザの情報の取得を自動で行い、ユーザの状況情報を用いて家電を制御し、その家電の情報の取得も自動で行い、スマートウォッチに通知するIoTシステム、“KADEN”を提案する。4章では実験および実験結果について述べ、5章で考察について述べる。最後に、6章で本論文の結論を述べる。

2. 関連研究

2.1 ユーザの状況に応じた家電の制御

心拍数を状況情報に用いた研究として“心拍数を用いた空調管理の最適化” [5]がある。この研究では心拍数を用いて空調管理の最適化が可能かどうかの検証がなされている。この研究では、ライフログを日々の生活の向上に役に立てようとする活動を意味する Quantified self と家の中の様々なデバイスをスマートフォンと接続しスマートフォンから家電を制御したりすることを意味する Home automation を組み合わせ、さらなる生活の向上を目指している。心拍数を用いてクーラーの空調管理を行い、人が快適だと感じられるかを検証している。この研究の結果から心拍数によって空調の最適化を行うことが可能であることが確認されている。

GPSの位置情報を状況情報に用いた研究には“GPS情報を利用した知的環境の一実装—モバイルネットワークと家電ネットワークを統合したエアコン制御を例として—”がある [6]。これは携帯電話のGPSから得られる位置情報と家電ネットワークを結合したもので、携帯電話所有者の居室のエアコンを自動的に制御することに適用したものである。

歩行数を状況情報に用いた研究に“節電の取り組みを可視化するAndroidアプリの実装と評価”がある [7]。これはエレベータを使わずに階段を利用した場合のくらい節電（省エネ）になるかを見える化するためのアプリで、歩行しているか、止まっているか、エレベータに乗っているかを加速度センサを用いて判定している。

2.2 構築したシステムのユーザビリティ

本システムではスマートウォッチをユーザインタフェースとして用いる。スマートウォッチは常時身に付けることができる利便性がある。たとえば、非常時体調管理システム [8]では、スマートウォッチは腕時計型なのでつねにリアルタイムでバイタルデータを測定でき、避難所という環境を考慮した中で想定される他人とすりかわるトラブルも起きにくいことがあげられており、避難者にストレスを感

じさせずに測定が可能としている。

2.3 省エネシステム

既存のサービスとして、Panasonic の Smart App [9] がある。Panasonic の Smart App では Panasonic が提供するスマート家電とアプリが連携することにより様々なサービスを提供している。たとえば Panasonic の Smart App 対応エアコンと Smart App が連携することにより、スマートフォンをエアコンのリモコンとして操作することができたり、外出先からでもネットワークを通じてエアコンを制御するといったことが可能になる。また、音声認識を使用することによって声でエアコンを制御したり、部屋の温度を確認するといったことも可能である。また、エコを“見える化”していることによって、たとえばスマホを冷蔵庫にタッチすると、扉の開閉回数やエコナビ率が表示されたり、エアコンに無線アクセスして現在の電気代や月ごとの電気代をチェックすることも可能である。さらに、健康管理やダイエットのため毎日の体重や血圧をチェックしている人は、体重計や血圧計にタッチして自動グラフ化した自分のデータを見守ることができる。他にも、炊飯器、冷蔵庫、レンジ、クッキングヒーター、洗濯乾燥機、加湿空気清浄機など様々なデバイスとアプリを連携させることで様々なサービスを提供している。

他の既存のサービスとして、“家電コンシェルジュ” [10] というサービスがある。“家電コンシェルジュ”というサービスは、家電機器がクラウドサーバにつながることで、宅外からスマートフォンや携帯電話を使ってスマート家電を制御することができる。たとえば、外出先からエアコンの電源を入れたり、部屋の中の温度を確認したりすることでユーザーに快適さを提供している。また、買い物先から冷蔵庫内に設置されたカメラユニットを制御することにより、冷蔵庫内の様子をスマートフォンに表示される画像で確認することができることで便利さを提供している。家電機器の消費電力の見える化や使用状況から省エネを促す“省エネアドバイス”があり、省エネを提供している。遠方で暮らしている家族の家電機器の使用履歴を確認できたりすることで見守りサポートとして機能し、安心を提供している。このように、“家電コンシェルジュ”を利用することでユーザーは様々なサービスを受けることができる。

従来の研究やサービスでは、スマートフォンや携帯電話を用いて屋外から家電を手動で制御することを目的とされている。また、人間から取得できる情報で家電を制御することで人が最適であると感じさせられるかを研究している。また、固定した状況で睡眠に関する状況情報の取得を自動で行い双方向に通信するシステム [11] はあったが、移動中のユーザーのスマート端末から情報家電、情報家電からユーザーのスマート端末双方向で状況情報の取得を自動で行

い通信を行うシステムはなかった。

3. KADEN

3.1 設計方針

本システムは、スマート端末が取得する状況情報によって小型冷蔵庫を制御する IoT システムである。本システム名“KADEN”の由来は、歩くことが基本で自動的に動作が決定される“家電”の意味に由来し、waKing based Automatic DEcisionSystem から命名した。本システムの設計方針を以下に示す。

- (1) ユーザの状況に応じた家電の制御を行うためにスマート端末のセンサを利用して状況情報（心拍数、位置情報、歩行数）を自動的に取得して判定する。これは操作することを忘れてしまうという課題への対応策である（課題 (a) に対応）。
- (2) システムのユーザビリティを向上させるため、スマートウォッチを入力および出力に用いる。これは手が空いていないと操作できないという課題への対応策である（課題 (b) に対応）。
- (3) 省エネシステムをめざすため、制御の対象とする小型冷蔵庫にもセンサを設置し、飲み物のないときに無駄な冷却をすることを防ぐため、ユーザと対象（小型冷蔵庫）の双方向で自動的に状況情報をやり取りする。これは家電がエコなシステムでなければならないという課題に対する対応策である（課題 (c) に対応）。

3.2 使用機器

本システムには、以下の機器を使用した。

- LG G Watch R (LG)：心拍検出センサ使用
- Nexus5 (LG)：GPS およびステップセンサ使用
- PC (Intel(R) Core(TM) i5-3470 CPU @ 3.20 GHz)
- ポケット Wifi (Speed Wi-Fi NEXT W04)
- 小型冷蔵庫（自作）
- 感圧センサ (ALPHA 製)
- Arduino (Arduino UNO R3)
- ペルチェ素子冷却ユニット (DC12V ペルチェ式冷却ユニット)

3.3 システム構成

本システムの構成を図 1 に示す。屋外で使用する LG G Watch R と Nexus5 間で Bluetooth を用いてデータの送受信を行う。開発は、LG G Watch R 側と Nexus5 側の両方で Android Studio を使用し、Java でプログラミングを行った。

Nexus5 と PC 間でインターネットを通じてソケット通信でデータの送受信を行う。開発は、Nexus5 側は Android Studio を使用して Java でプログラミングし、PC 側は Visual Studio を使用して C# で開発を行った。

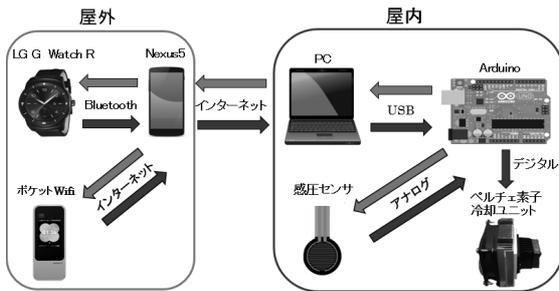


図 1 システム構成
Fig. 1 System constitution.

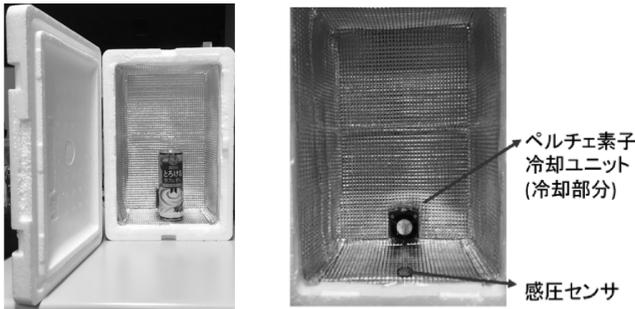


図 2 小型冷蔵庫の外観 (左) とその内部 (右)

Fig. 2 The appearance (left) and the inside (right) of the small refrigerator.

PC と Arduino UNO R3 (以下 Arduino とする) 間で USB シリアル通信を用いてデータの送受信を行う。開発は、PC 側は Visual Studio を使用して C# でプログラミングし、Arduino 側は、C++ で開発を行った。また、Arduino はペルチェ素子冷却ユニットと感圧センサと接続している。

3.4 “KADEN” の機能

3.4.1 状況情報 (心拍数, 位置情報, 歩行数) の取得

LG G Watch R の心拍検出センサを用いて心拍数を取得し、Nexus5 (LG) の GPS を用いて位置情報を、ステップセンサを用いて歩行数を取得する。

3.4.2 小型冷蔵庫内の冷却機能

Arduino を用いて、電圧をペルチェ素子冷却ユニットにかけることで小型冷蔵庫内を冷やすことができる。小型冷蔵庫の外観と内部を図 2 に示す。床面には飲み物の有無を判定する感圧センサ、背面にはペルチェ素子冷却ユニットを配置している。ペルチェ素子を小型冷蔵庫に使用した理由は、コンプレッサなどが無いため、小型化でき静かであるためである。感圧センサの上に飲み物を置く。

実験では飲み物に缶ジュースを使用する。一般の冷蔵庫では、食材が入っているためつねに冷却しておかなければならないが、個人用の自分の部屋内に置く小型の冷蔵庫では、エコの観点からビールや缶ジュースを飲みたいときにだけ冷やすことが考えられ、実際に缶用の小型冷蔵庫が販売されている。実験協力者が誰でも飲めるということで缶ジュース (缶コーヒーなども含む) を対象とした。

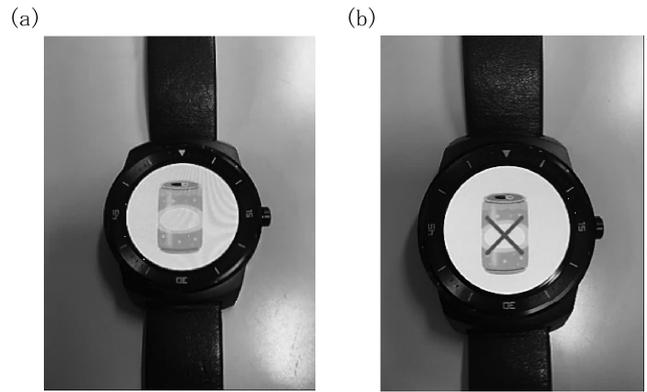


図 3 飲み物の有無の表示 (a) あるとき, (b) ないとき
Fig. 3 Indication of the drink presence ((a) existence, (b) non-existence).

小型冷蔵庫の内部気温はペルチェ素子により 5 分間で約 4°C 温度を下げるができる。室温が 22°C のときに 18°C まで下がるのを確認している。この小型冷蔵庫 (約 7 リットル) を 1 時間冷やすのにかかる料金は $0.8 \text{ (w)} \div 1000 \times 1 \text{ (h)} \times 26 \text{ (円)} = 0.02 \text{ (円)}$ である。

3.4.3 飲み物の有無の判定

Arduino のアナログ入力部分に接続された感圧センサに圧力がかかっているかどうかを判定し、小型冷蔵庫内に飲み物があるかどうかを判断する (図 2 参照)。

3.4.4 スマートウォッチへの通知機能

小型冷蔵庫内に飲み物があるかどうかをスマートウォッチに画像と振動で通知する。小型冷蔵庫内に飲み物があるときに表示される画像を図 3 (a) に示し、飲み物がないときに表示される画像を図 3 (b) に示す。

3.5 システムの利用手順

ユーザの心拍数を LG G Watch R で取得し、LG G Watch R から Nexus5 へ伝え、Nexus5 で緯度・経度の情報および歩行数の情報を取得する。その後、Nexus5 内の心拍数と位置情報と歩行数のデータが、ある基準値 (心拍数 60 以上、学術情報センター付近、歩行数 100 歩以上、または、心拍数 60 以上、大学会館付近、歩行数 300 歩以上) を超えたならば、PC が Arduino を制御し、感圧センサを用いて自動的に小型冷蔵庫の中に飲み物が入っているかどうかの判定を行う。ここで、飲み物が入っていたならば小型冷蔵庫内をペルチェ素子冷却ユニットで冷却する。そして、LG G Watch R に飲み物があるかどうかの判定結果を LG G Watch R に振動と表示される画像で通知する。

4. 実験

実験は 2018 年 1 月 20 日から 30 日に行った。外気温は最低で -1°C、最高で 11°C であった。冷蔵庫が置かれている研究室の暖房は 20°C に設定されている。実験 1, 実験 2, および比較実験はカウンターバランスをとって行っ

ている。実験協力者は、和歌山大学システム工学部学生およびシステム工学研究科学生の合計15名で、20歳から26歳である。実験協力者を15名とした理由は、ユーザビリティ問題に関しては、反論もあるが、5名の参加で十分と考える主張があり、これを上回る人数とした[12]。

4.1 実験目的

実験の目的を以下に示す。

実験目的1: ユーザの状況に応じた家電の制御を行うためにスマート端末のセンサを利用して状況情報(心拍数, 位置情報, 歩行数)を自動的に取得して判定して小型冷蔵庫を制御することが手動で制御を行うことと評価が変化するかを明らかにする。また, どの状況情報が効果的かを明らかにする。

実験目的2: システムのユーザビリティを向上させるため, スマートウォッチを入力および出力に用いるが, この評価を明らかにする。

実験目的3: 省エネ(エコ)システムをめざすため, 制御の対象とする小型冷蔵庫に感圧センサを設置し, 飲み物がないときに無駄な冷却をすることを防ぐため, ユーザと対象(小型冷蔵庫)の双方向で自動的に状況情報をやり取りするが, これが適切であったかどうかを明らかにする。

上記の3つの実験目的のため, 実験は本システムを使った実験2種類と比較実験の合計3種類行った。

4.2 実験結果の評価方法—アンケート

4.2.1 アンケート形式

情報処理学会情報システムと社会環境研究会の情報システムの有効性評価: 量的評価のガイドライン(解説編)[13]の「2. 有効性をどう見るか」の「2.3 心理量を扱う場合の注意点」によると, 心理量を扱う場合, 調査票(アンケート)が使用されているが, 様々な問題があると指摘されており, 通常の統計処理ができないため結果の度数分布を示すことが重要であるとしている。したがって, 本論文でも平均値だけではなく中央値, 最頻値も示す。また, アンケートの形式であるが, 5件法の評価が中央によってしまい差が抽出しにくいことがあり, 7件法では, 両端が選ばれないことをむしろ前提として作られ, 4件法は, 「どちらでもない」を回答させないための方法でもある[13]。今回の実験では「どちらでもない」を選ばせない特に強い理由はないため, 7件法もしくは5件法を選ぶべきであるが, この文献[13]にも例としてあげられている一般的な5件法(5段階評価)を用いた。したがって, アンケートは5段階評価で行い, 最も低い評価である1を「まったく同意しない」とし, 2を「同意しない」, 3を「どちらでもない」とし, 4を「同意する」, 最も高い評価である5を「強く同意する」とした。

4.2.2 アンケート項目の設計

アンケートにより知りたい内容は実験目的に対応して以下になる。

- (1) ユーザの状況に応じた家電の制御を行うためにスマート端末のセンサを利用して状況情報(位置情報, 心拍情報, 歩行数)を自動的に取得して判定して小型冷蔵庫を制御する(冷やす)ことが手動で制御を行うことと評価が変化するかを明らかにする。また, どの状況情報が効果的かを明らかにする(表1, 表5, 表8)。
- (2) スマートウォッチを入力および出力に用いるが, このユーザビリティの評価を明らかにする(表2)。
- (3) 省エネ(エコ)システムをめざすため, 制御の対象とする小型冷蔵庫にもセンサを設置し, 飲み物がないときに無駄な冷却をすることを防ぐため, ユーザと対象(小型冷蔵庫)の双方向で自動的に状況情報をやり取りするが, これが適切であったかどうかを明らかにする(表3, 表6, 表9)。
- (4) システム全体の評価
飲み物の温度が適切か, システム全体が役に立つかエコであるかなど, システム全体の評価を明らかにする(表4, 表7, 表10)。

4.3 統計処理方法

5段階評価は順序尺度のためノンパラメトリック検定を行う。本実験では同じ実験協力者が3つの実験を行うため, 2つのデータの検定は対応のある「マンホイットニ検定」を使用した。「*」は p 値が5%以下で有意差がある, 「**」は p 値が1%以下で有意差があることを示す。

3つのデータの比較は, 対応のあるノンパラメトリック・データの多重比較で評価した。なお, 多重比較にはライアンの方法を用い, 2群の比較にウィルコクソンの符号付順位和検定を使用している[14]。「*」は p 値が5%以下で有意差がある, 「**」は p 値が1%以下で有意差があることを示す。

相関分析の手法として「スピアマンの順位相関係数」を使用する。相関係数 r として $0 < |r| \leq 0.2$ でほとんど相関なし, $0.2 < |r| \leq 0.4$ で弱い相関あり, $0.4 < |r| \leq 0.7$ で中程度の相関あり, $0.7 < |r| < 1.0$ で強い相関ありとする。

近年, ASA声明により p 値を使わない動きがあるが[15], 本論文では従来通り(たとえば文献[16]), 検定に p 値を使っているが, 今後, 新たな検定法を検討する必要がある。

4.4 実験1

4.4.1 実験目的

実験1では状況情報を自動的に取得した場合, 手動で取得する比較実験と比べて評価が変化するかを明らかにする。また, 状況情報および小型冷蔵庫の情報(缶ジュースの有無)のどの情報がどのように効果的であるのかを明らかにする(実験目的1, 3)。また, スマートウォッチのユーザ

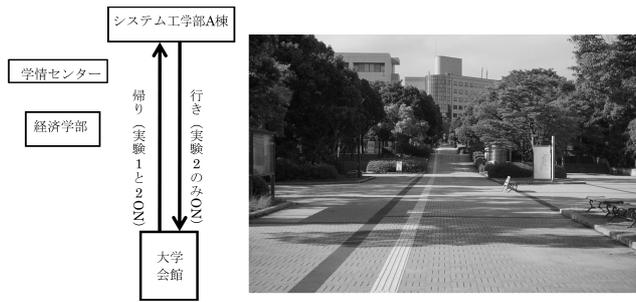


図4 実験経路

Fig. 4 Experiment course.

ビリティの評価も行う (実験目的2).

4.4.2 実験方法

和歌山大学システム工学部 A 棟 8 階のグループウェア研究室から大学会館間で歩き、大学会館からグループウェア研究室まで戻って来る約 750m を実験のルートとし、その間に実験協力者の心拍数 (60 以上) と位置情報 (大学会館付近)、歩行数 (300 歩以上) を超えるとシステムを作動させ (今回は必ず基準値を満たすようにした)、小型冷蔵庫の中に飲み物があるかどうかの判定を行う。判定を行った結果をユーザが身に着けているスマートウォッチに振動と画像で通知する。その結果、飲み物があるので小型冷蔵庫から取りだして飲む。約 300m 歩く時間、冷やすことになる。図 4 左に経路の概略図を示す。図 4 右の写真は大学会館からシステム工学部 A 棟 (正面) を望んだものである。学情センターは左側の建物 (経済学部) の後ろ側にある。大学会館側からは上り坂になっている。

4.4.3 実験結果

実験1のユーザの状況に応じた家電の制御に対する評価を表1に、スマートウォッチのユーザビリティの評価 (実験1, 2 共通) を表2に、センサで飲み物の有無を検知する省エネシステム (エコ) に対する評価を表3に、システム全体に対する評価を表4に示す。なお、スマートウォッチは実験1と実験2に使うが、実験協力者が行う実験のうちの先に行った実験のときに1回アンケートをとっている。ここでは表2とする。

4.5 実験2

4.5.1 実験目的

実験2の実験目的は基本的に実験1と同じである。異なる点は、小型冷蔵庫のスイッチが入っている距離を750mとし、実験1より長く冷やすことである。冷やす時間の長さで評価が変化するかどうかを見るための実験である。また、比較実験 (後述, 4.6 節) では任意の場所でボタンを押すことができるので、実験1 (300m) のデータだけでは対応が不足なので長い距離 (750m) に対応する意味もある。

4.5.2 実験方法

システム工学部 A 棟 8 階のグループウェア研究室から大

表1 実験1のユーザの状況に応じた家電の制御に対する評価

Table 1 Evaluation of control of consumer electronics according to user's situation of Experiment 1.

	平均値	中央値	最頻値
状況情報 (心拍数と位置情報と歩行数) を利用して小型冷蔵庫内を冷やすことは必要だと思いましたが?	3.6	4	4
状況情報 (心拍数と位置情報と歩行数) を利用して小型冷蔵庫内を冷やすことは便利だと思いましたが?	4.1	4	4
状況情報 (心拍数と位置情報と歩行数) を利用して小型冷蔵庫内を冷やすことはエコだと思いましたが?	3.6	4	4
状況情報 (心拍数、位置情報、歩行数) のどれが一番必要と思いましたが?	位置情報 10名	心拍数 2名	歩行数 3名

表2 スマートウォッチのユーザビリティの評価 (実験1, 2 共通)

Table 2 Evaluation of usability of smart watch (Experiment1 and 2).

	平均値	中央値	最頻値
スマートウォッチは負担にならなかったですか?	4.4	5	5
スマートウォッチの振動は邪魔にならなかったですか?	4.3	4	4
スマートウォッチに表示された画像は見やすかったですか?	4.3	4	4
スマートウォッチに表示された画像は適切でしたか?	3.7	4	4
スマートウォッチに表示された小型冷蔵庫内に飲み物があるかどうかの通知 (振動と画像) は邪魔にならなかったですか?	3.8	4	3
スマートウォッチに表示された小型冷蔵庫内に飲み物があるかどうかの通知 (振動と画像) は必要であると思いましたが?	4.3	4	4
スマートウォッチに表示された小型冷蔵庫内に飲み物があるかどうかの通知 (振動と画像) は便利であると思いましたが?	3.9	4	4

学舎館間で歩き、大学会館からシステム工学部 A 棟の8階の本研究室まで戻って来る約 750m を実験のルートとし、その間に実験協力者の心拍数 (60 以上) と位置情報 (学情センター付近)、歩行数 (100 歩以上) を超えるとシステムを作動させ (今回は必ず基準値を満たすようにした)、小型冷蔵庫の中に飲み物があるかどうかの判定を行う。判定を行った結果をユーザが身に着けているスマートウォッチに振動と画像で通知する。その結果、飲み物があるので小型

表 3 実験 1 の省エネシステム (エコ) に対する評価

Table 3 Evaluation on energy saving system (Eco) of Experiment 1.

	平均値	中央値	最頻値
状況情報(心拍数と位置情報と歩行数)を利用して小型冷蔵庫内の情報を知ることができることは必要だと思われましたか?	3.9	4	4
状況情報(心拍数と位置情報と歩行数)を利用して小型冷蔵庫内の情報を知ることができることは便利だと思われましたか?	4.0	4	4
状況情報(心拍数と位置情報と歩行数)を利用して小型冷蔵庫内の情報を知ることができることはエコだと思われましたか?	3.6	4	3

表 4 実験 1 のシステム全体に対する評価

Table 4 Evaluation of the entire system of Experiment 1.

	平均値	中央値	最頻値
小型冷蔵庫内の飲み物の温度は適切でしたか?	3.5	3	3
本システムはエコであると思われましたか?	3.3	3	3
本システムはエコに貢献できると思われましたか?	3.8	4	4
本システムは実生活で役に立つと思われましたか?	3.8	4	4
本システムを今後も利用したいと感じましたか?	3.9	4	4

冷蔵庫から取りだして飲む。約 750m 歩く時間、冷やすことになる (図 4 参照)。

4.5.3 実験結果

実験 2 のユーザの状況に応じた家電の制御に対する評価を表 5 に、センサで飲み物の有無を検知する省エネシステム (エコ) に対する評価を表 6 に、システム全体に対する評価を表 7 に示す。

4.6 比較実験

4.6.1 実験目的

比較実験はスマートフォンのみを使用し、任意の場所で手でボタンを押して小型冷蔵庫内の情報を取得する実験である。この実験は状況情報を自動的に取得する実験 (実験 1 と実験 2) と手動で取得することを比較して、手動で情報を取得することで評価が変化するかを示すためのものである。

4.6.2 実験方法

実験 1, 2 と同じルート (図 4 参照) を歩き、その間に実験協力者が任意のタイミングでボタンを押しシステムを

表 5 実験 2 のユーザの状況に応じた家電の制御に対する評価

Table 5 Evaluation of control of consumer electronics according to user's situation of Experiment 2.

	平均値	中央値	最頻値
状況情報(心拍数と位置情報と歩行数)を利用して小型冷蔵庫内を冷やすことは必要だと思われましたか?	3.7	4	4
状況情報(心拍数と位置情報と歩行数)を利用して小型冷蔵庫内を冷やすことは便利だと思われましたか?	3.7	4	4
状況情報(心拍数と位置情報と歩行数)を利用して小型冷蔵庫内を冷やすことはエコだと思われましたか?	3.8	4	3
状況情報(心拍数、位置情報、歩行数)のどれが一番必要と思われましたか?	位置情報 10名	心拍数 2名	歩行数 3名

表 6 実験 2 の省エネシステム (エコ) に対する評価

Table 6 Evaluation on energy saving system (Eco) of Experiment 2.

	平均値	中央値	最頻値
状況情報(心拍数と位置情報と歩行数)を利用して小型冷蔵庫内の情報を知ることができることは必要だと思われましたか?	3.7	4	4
状況情報(心拍数と位置情報と歩行数)を利用して小型冷蔵庫内の情報を知ることができることは便利だと思われましたか?	4.3	4	4
状況情報(心拍数と位置情報と歩行数)を利用して小型冷蔵庫内の情報を知ることができることはエコだと思われましたか?	3.4	3	4

表 7 実験 2 のシステム全体に対する評価

Table 7 Evaluation of the entire system of Experiment 2.

	平均値	中央値	最頻値
小型冷蔵庫内の飲み物の温度は適切でしたか?	3.1	3	3
本システムはエコであると思われましたか?	3.5	3	3
本システムはエコに貢献できると思われましたか?	3.8	4	4
本システムは実生活で役に立つと思われましたか?	3.8	4	4
本システムを今後も利用したいと感じましたか?	3.8	4	4

作動させ、小型冷蔵庫の中に飲み物があるかどうかの判断を行う。その判断を行った結果をユーザが身に着けているスマートフォンに振動と画像で通知する。図 5 にスマート



図 5 飲み物のあるときの表示

Fig. 5 Indication when there is the drink.

表 8 比較実験の家電の制御に対する評価

Table 8 Evaluation of control of consumer electronics of Comparative Experiment.

	平均値	中央値	最頻値
スマートフォンのボタンを押すことによって、小型冷蔵庫内を冷やすことは必要だと思いましたが？	4.0	4	4
スマートフォンのボタンを押すことによって、小型冷蔵庫内を冷やすことは便利だと思いましたが？	4.0	4	4
スマートフォンのボタンを押すことによって、小型冷蔵庫内を冷やすことはエコだと思いましたが？	3.6	4	4

表 9 比較実験の省エネシステム（エコ）に対する評価

Table 9 Evaluation on energy saving system (Eco) of Comparative experiment.

	平均値	中央値	最頻値
スマートフォンのボタンを押すことによって、小型冷蔵庫内の情報を知ることができることは必要だと思いましたが？	3.4	3	3
スマートフォンのボタンを押すことによって、小型冷蔵庫内の情報を知ることができることは便利だと思いましたが？	3.8	4	4
スマートフォンのボタンを押すことによって、小型冷蔵庫内の情報を知ることができることはエコだと思いましたが？	2.9	3	3

フォンに表示される画像を示す。スマートフォンのみを所持し、スマートウォッチは使わない。飲み物がある場合があるので小型冷蔵庫から取りだして飲む。

4.6.3 実験結果

比較実験のユーザの状況に応じた家電の制御に対する評価を表 8 に、センサで飲み物の有無を検知する省エネシステム（エコ）に対する評価を表 9 に、システム全体に対する評価を表 10 に示す。

表 10 比較実験のシステム全体に対する評価

Table 10 Evaluation of the entire system of Comparative experiment.

	平均値	中央値	最頻値
小型冷蔵庫内の飲み物の温度は適切でしたか？	3.5	4	4
本システムは実生活で役に立つと思いましたが？	3.7	4	4
本システムはエコであると思いましたが？	3.5	4	4
本システムはエコに貢献できると思いましたが？	3.7	4	3
本システムを今後も利用したいと感じましたか？	3.7	4	4

5. 考察

実験結果を、(1) 家電の制御の観点、(2) スマートウォッチのユーザビリティの観点、(3) センサで飲み物の有無を検知する省エネシステム（エコ）の観点、(4) システム全体の観点、から考察を行った。

5.1 家電の制御の観点

表 11 にユーザの状況もしくはボタンを押して制御する家電の観点からの結果を比較する。

実験 1 で「状況情報（心拍数と位置情報と歩行数）を利用して小型冷蔵庫内を冷やすことは便利だと思いましたが？」(4.1) と「本システムは実生活で役に立つと思いましたが？」(3.8) との間で 0.83 の強い相関が得られた。また、「缶の温度を測る手法があれば、スマートウォッチ上に（缶の絵と）セットで表示できないかなと考えました。」という自由記述の意見があった。冷やすことのフィードバックが実現すればさらに便利になるとの提案である。これらから、状況情報（心拍数と位置情報と歩行数）を利用して小型冷蔵庫内を冷やすことが便利だと思っているほどユーザほど、本システムは実生活で役に立つと思っていると考えられる。

比較実験では表 11 の結果から、「スマートフォンのボタンを押すことによって、小型冷蔵庫内を冷やすことは必要だと思いましたが？」(4.0) と「スマートフォンのボタンを押すことによって、小型冷蔵庫内を冷やすことは便利だと思いましたが？」(4.0) の評価が比較的高かったことからスマートフォンのボタンを押すことによって、小型冷蔵庫内を冷やすことは必要であり便利だとユーザが思っていると考えられる。

表 11 から実験 1 と実験 2 の「状況情報の利用もしくはボタンを押して小型冷蔵庫内を冷やすことは便利だと思いましたが？」の間に有意差があった。

表 11 ユーザの状況情報もしくはボタンを押して制御する家電に対する評価

Table 11 Evaluation of consumer electronics controlled by user's status information or pressing button.

	実験 1	実験 2	比較実験
状況情報の利用もしくはボタンを押して小型冷蔵庫内を冷やすことは必要だと思いましたが？	3.6	3.7	4.0
状況情報の利用もしくはボタンを押して小型冷蔵庫内を冷やすことは便利だと思いましたが？	4.1*	3.7	4.0
状況情報の利用もしくはボタンを押して小型冷蔵庫内を冷やすことはエコだと思いましたが？	3.6	3.8	3.6

表 1, 表 5 から, 実験 1, 実験 2 いずれも「状況情報 (心拍数と位置情報と歩行数) のどれが一番必要と思いましたが？」の質問に対しては 15 名中 10 名が位置情報と答えたが歩行数と答えた人も 3 名おり, 無視できない存在であることが分かる。

5.2 スマートウォッチのユーザビリティの観点

表 2 の「スマートウォッチは負担にならなかったですか？」(4.4), 「スマートウォッチの振動は邪魔にならなかったですか？」(4.3), 「スマートウォッチに表示された画像は見やすかったですか？」(4.3) の結果から, スマートウォッチに関する評価は比較的高かったことが分かる。表 2 の「スマートウォッチに表示された小型冷蔵庫内に飲み物があるかどうかの通知 (振動と画像) は邪魔にならなかったですか？」(3.8), 「スマートウォッチに表示された小型冷蔵庫内に飲み物があるかどうかの通知 (振動と画像) は必要だと思いましたが？」(4.3), 「スマートウォッチに表示された小型冷蔵庫内に飲み物があるかどうかの通知 (振動と画像) は便利だと思いましたが？」(3.9) の結果から, 飲み物があるかどうかの通知は邪魔にならず, 必要であり便利であると考えられる。

5.3 省エネシステムの観点

表 12 にセンサで飲み物の有無を検知する省エネシステムの観点からの結果を比較する。

表 12 の実験 1 の「状況情報 (心拍数と位置情報と歩行数) を用いて小型冷蔵庫内の情報を知ることができることは必要だと思いましたが？」(3.9), 「状況情報 (心拍数と位置情報と歩行数) を利用して小型冷蔵庫内の情報を知ることができることは便利だと思いましたが？」(4.0)

表 12 省エネシステム (エコ) に対する評価

Table 12 Evaluation on energy saving system (Eco) of Comparative experiment.

	実験 1	実験 2	比較実験
状況情報の利用もしくはボタンを押して小型冷蔵庫内の情報を知ることができることは必要だと思いましたが？	3.9*	3.7	3.4
状況情報の利用もしくはボタンを押して小型冷蔵庫内の情報を知ることができることは便利だと思いましたが？	4.0	4.3*	3.8
状況情報の利用もしくはボタンを押して小型冷蔵庫内の情報を知ることができることはエコだと思いましたが？	3.6*	3.4*	2.9

の結果から, ユーザ側から情報家電への状況情報の伝達は必要で便利であることが分かった。

実験 2 では, 表 12 の「状況情報 (心拍数と位置情報と歩行数) を用いて小型冷蔵庫内の情報を知ることができることは便利だと思いましたが？」(4.3) の結果から, 情報家電からユーザへの状況情報の伝達は便利であることが分かった。次に相関分析を行う。「状況情報 (心拍数と位置情報と歩行数) を利用して小型冷蔵庫内の情報を知ることができることは便利だと思いましたが？」(4.3) と「本システムを今後も利用したいと感じましたか？」(3.8) との間で 0.79 の強い相関が得られた。また, 「冷蔵庫内の飲み物の種類を知りたかった。」, 「飲み物だけでなく食材の在庫が分かれば良いと思った。」という意見が自由記述にあった。小型冷蔵庫内の情報をさらに細かく知ることが実現すればさらに便利になるとの提案である。これらから, 状況情報 (心拍数と位置情報と歩行数) を利用して小型冷蔵庫内の情報を知ることが便利だと思っているユーザほど, 本システムを今後も利用したいと感じていると考えられる。

表 12 の「小型冷蔵庫内の情報を知ることができることは必要だと思いましたが？」の評価が実験 1 (3.9), 実験 2 (3.7), 比較実験 (3.4), 「小型冷蔵庫内の情報を知ることができることは便利だと思いましたが？」の評価が実験 1 (4.0), 実験 2 (4.3), 比較実験 (3.8), 「小型冷蔵庫内の情報を知ることができることはエコだと思いましたが？」の評価が実験 1 (3.6), 実験 2 (3.4), 比較実験 (2.9) は, 実験 1 もしくは実験 2 がボタンを押す比較実験との間に有意差があることから, ボタンを押すよりも自動的に小型冷蔵庫内の情報を知ることの方が有意差がでるほど評価が高いことが分かった。

5.4 システム全体の観点

表 13 にシステム全体の観点からの結果を比較する。シ

表 13 システム全体に対する評価
Table 13 Evaluation of the entire system.

	実験 1	実験 2	比較実験
小型冷蔵庫内の飲み物の温度は適切でしたか?	3.5	3.1	3.5*
本システムはエコであると思いましたが?	3.3	3.5	3.7
本システムはエコに貢献できると思いましたが?	3.8	3.8	3.5
本システムは実生活で役に立つと思いましたが?	3.8	3.8	3.7
本システムを今後も利用したいと感じましたか?	3.9	3.8	3.7

システム全体の評価のうち、「本システムはエコであると思いましたが?」、「本システムはエコに貢献できると思いましたが?」、「本システムは実世界で役にたつと思いましたが?」、「本システムを今後も利用したいと感じましたか?」に関してはすべての実験で有意差がなかった。

「本システムはエコであると思いましたが?」に関してはいずれの実験でも評価は高くないが、アンケートの自由記述には「小型冷蔵庫内の電源をつねに入れた状況でないで省エネと節約だと思った。」(実験 2)、「必要なタイミングで冷やすことができるのは省エネだと思った」(比較実験)とある。小型冷蔵庫は 1 時間動作させるのに 0.02 円かかり、当然、必要なときだけ使用すると電気代は削減されるので、ある程度は評価されたと考えられる。また、「小型冷蔵庫内の飲み物の温度は適切でしたか?」に関しては実験 2 と比較実験との間だけに有意差があった。

6. おわりに

本論文では、スマートフォンとスマートウォッチから得たユーザの状況情報(心拍数、位置情報、歩行数)を用いて自動的に家電を制御し、その家電の情報をスマートウォッチに通知するシステム KADEN の開発を行い、2 種類の評価実験および比較実験を行った。実験結果から以下のことが分かった。

- (1) 状況情報(心拍数、位置情報、歩行数)を用いて自動的に小型冷蔵庫を制御する場合と手動で制御する場合には「システムが実生活で役にたつ」などのシステム全体の評価には有意差はなかった。
- (2) 本システムに状況情報で必要と思われるのは位置情報、歩行数、心拍情報の順である。
- (3) スマートウォッチのユーザビリティは高い評価で、使用に負担が少なく(4.4/5.0)、振動による通知は邪魔になりにくく(4.3/5.0)、表示された画面は見やすい(4.3/5.0)。
- (4) エコの面から見ると本システムでは飲み物があるかどうか自動的に分かることの評価が必要性と便利さの

面が高く、手動の場合と比較して評価に有意差があるものがあつた。

今後の展望として、自由記述より、温める機能が欲しかったという意見や気温によって飲み物の温度を自動で調節してくれる機能が欲しいといった意見があり、冷やすだけではなく温める機能が求められると考えられる。

参考文献

- [1] 中村勇貴, 三好 力: 情報家電での一人暮らしの学生の見守りサービスの研究, 情報処理学会第 78 回全国大会講演論文集, Vol.2016, No.1, pp.809-810 (2016).
- [2] 齋藤啓司, 平山紀之: テレビやタブレットを用いたスマート家電連携サービス, 東芝レビュー, Vol.70, No.6, pp.15-18 (2015).
- [3] 薩本弥生: 生活を豊かにするために必要とされる衣生活教育, 日本家政学会誌, Vol.67, No.3, pp.192-198 (2016).
- [4] 重川純子, 山下綾子: 環境配慮行動への動機づけを高める「消費生活と環境」の学習, 埼玉大学教育学部附属教育実践総合センター紀要, Vol.16, pp.67-72 (2017).
- [5] 野元隆介: 心拍数を用いた空調管理の最適化, 早稲田大学学位論文, pp.1-45 (2015).
- [6] 木村 竜, 新巻洋一, 五百蔵重典, 田中 博: GPS 情報を利用した知的環境の一実証—モバイルネットワークと家電ネットワークを統合したエアコン制御を例として, 電子情報通信学会技術研究報告, USN, ユビキタス・センサネットワーク, Vol.108, No.252, pp.17-22 (2008).
- [7] 大久保成晃, 菊池浩明, 石井啓之: 節電の取り組みを可視化する Android アプリの実装と評価, 情報処理学会「マルチメディア, 分散, 協調とモバイル DICOMO2013 シンポジウム」, pp.1436-1440 (2013).
- [8] 古口 眞, 柴田義孝, 橋本浩二: ウェアラブルを用いた非常時体調管理システム, 情報処理学会第 78 回全国大会講演論文集, Vol.2014, No.4, pp.987-988 (2016).
- [9] スマートフォンで、より私らしく進化する家電へ、入手先 (<http://panasonic.jp/ps/ap.html>) (参照 2018-05-05).
- [10] 古田和浩, 丸谷祐樹, 中川達也: スマート家電“家電コンシェルジュ”サービス, 東芝レビュー, Vol.69, No.4, pp.54-57 (2014).
- [11] Bylykbashi, K., Obukata, R., Liu, Y., Spaho, E., Barolli, L. and Takizawa, M.: Application of Fuzzy Logic for Improving Human Sleeping Conditions in an Ambient Intelligence Testbed, *EIDWT-2018*, pp.41-50 (2018).
- [12] Tullis, T., Albert, B., 篠原稔和 (訳): ユーザエクスペリエンスの測定, 東京電機大学出版局 (2014).
- [13] 情報処理学会情報システムと社会環境研究会: 量的評価ガイドライン (2012), 入手先 (<https://ipsj-is.jp/works/%E6%83%85%E5%A0%B1%E3%82%B7%E3%82%B9%E3%83%86%E3%83%A0%E3%81%AE%E6%9C%89%E5%8A%B9%E6%80%A7%E8%A9%95%E4%BE%A1%E6%89%8B%E6%B3%95%E5%88%86%E7%A7%91%E4%BC%9A/%E9%87%8F%E7%9A%84%E8%A9%95%E4%BE%A1%E3%82%AC%E3%82%A4%E3%83%89%E3%83%A9%E3%82%A4%E3%83%B3/>) (参照 2018-08-28).
- [14] Python による対応ある(群内)ノンパラメトリックデータの多重比較, 入手先 (http://www.m-sugaya.jp/python/ryan_note.html) (参照 2018-04-08).
- [15] Wasserstein, R.L. and Lazar, N.A.: The ASA's Statement on p-Values: Context, Process, and Purpose, *The American Statistician*, Vol.70, pp.129-133 (2016).
- [16] 宗森 純, 木村 鷹, 伊藤淳子: 温度刺激と表情アイコンを持ち共鳴機能を備えた対戦ゲーム場面での感情伝達シ

システム「Ther:com」の開発, 情報処理学会論文誌, Vol.58, No.1, pp.176-188 (2017).



宗森 純 (正会員)

1979年名古屋工業大学電気工学科卒業。1981年名古屋工業大学大学院工学研究科修士課程修了。1984年東北大学大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士課程修了。工学博士。同年三菱電機(株)入社。鹿児島大学工学部助教授, 大阪大学基礎工学部助教授, 和歌山大学システム情報学センター教授を経て, 2002年同大学システム工学部デザイン情報学科教授。1997年度本会山下記念研究賞, 1998年度本会論文賞, 2005年KES'05 Best Paper Award, 2014年度日本創造学会論文賞をそれぞれ受賞。本会グループウェアとネットワークサービス研究会主査, 本会理事等を歴任。グループウェア, 形式的記述技法, 神経生理学等の研究に従事。IEEE, ACM, 電子情報通信学会, 日本創造学会各会員。本会フェロー。



増野 宏一

2018年和歌山大学大学院システム工学研究科博士前期課程修了。同年株式会社インテック入社。在学中グループウェアに関する研究に従事。



伊藤 淳子 (正会員)

2001年大阪大学大学院基礎工学研究科情報数理系専攻博士前期課程修了。2005年京都大学大学院情報学研究科知能情報学専攻博士課程単位取得退学。同年和歌山大学システム工学部助手。2007年より同大学助教。工学修士。2006年度本会第63回GN研究会優秀発表賞受賞。2014年度日本創造学会論文賞をそれぞれ受賞。対人コミュニケーション, 対話における非言語情報とその表現, モバイルグループウェアに関する研究に従事。