

システムとユーザの対話に基づく個人に適応した 宅内省エネ行動推進手法

平井 駿[†] 岡本 大[†] 陳 思楠[†] 佐伯 幸郎^{††} 中村 匡秀^{†,†††}

[†] 神戸大学 〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1

^{†††} 理化学研究所・革新知能統合研究センター 〒 103-0027 東京都中央区日本橋 1-4-1

^{††} 高知工科大学 〒 782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185

E-mail: [†]{hirashun,hiro-o}@es4.eeddept.kobe-u.ac.jp, ^{††}chensinan@gold.kobe-u.ac.jp,

^{†††}saiki.sachio@kochi-tech.ac.jp, ^{††††}masa-n@cmds.kobe-u.ac.jp

あらまし 近年、地球温暖化などの気候変動は深刻な問題となっており、日本はゼロカーボン社会実現を目指している。ゼロカーボンは、温室効果ガスの排出量と吸収量を差し引きでゼロにし、CO₂ 排出量を削減することが重要となる。本研究では、宅内省エネ行動によるエネルギー削減に焦点を合わせ、家電別消費電力の取得不足、個人適応の欠如、通知の見落としといった問題点に対処する。そのために、IoT デバイスとベースラインを利用した消費電力管理サービスと仮想エージェント (VA) を連携する手法を提案し、実装を行った。評価実験では、VA 導入により消費電力が減少し、省エネ意識の向上と行動変化が見られたことを確認した。

キーワード ゼロカーボン、省エネ行動、IoT デバイス、消費電力、個人適応、仮想エージェント

A Study of Promotion Method for Energy-Saving Behavior in Homes with Personalized Adaptive Interaction

Shun HIRAI[†], Hiro OKAMOTO[†], Sinan CHEN[†], Sachio SAIKI^{††}, and Masahide

NAKAMURA^{†,†††}

[†] Kobe University Rokkodai-cho 1-1, Nada-ku, Kobe, Hyogo 657-8501 Japan

^{†††} Riken AIP 1-4-1 Nihon-bashi, Chuo-ku, Tokyo 103-0027 Japan

^{††} Kochi University of Technology, 185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami City, Kochi 782-8502, JAPAN

E-mail: [†]{hirashun,hiro-o}@es4.eeddept.kobe-u.ac.jp, ^{††}chensinan@gold.kobe-u.ac.jp,

^{†††}saiki.sachio@kochi-tech.ac.jp, ^{††††}masa-n@cmds.kobe-u.ac.jp

Abstract In recent years, climate change, including global warming, has become a serious issue, and Japan is aiming to realize a zero carbon society. Zero carbon means reducing the net emissions of greenhouse gases to zero by balancing the amount emitted and absorbed, which is crucial for reducing CO₂ emissions. This study focuses on energy reduction through in-home energy-saving actions, addressing issues such as the lack of acquisition of appliance-specific electricity consumption data, lack of personal adaptation, and oversight of notifications. To address these, a method that integrates a power consumption management service using IoT devices and baselines with a virtual agent (VA) was proposed and implemented. The evaluation experiment confirmed that the introduction of VA led to a reduction in power consumption, and an improvement in energy-saving consciousness and behavioral change was observed.

Key words Zero carbon, Energy-saving behavior, IoT device, Energy consumption, Personal adaption, Virtual agent

1. はじめに

近年、地球温暖化などの影響による気候変動が大きな問題となっている、世界の平均気温は上昇を続けており、様々な災害を引き起こしている [?]. この問題を解決するため、日本では**ゼロカーボン**を推進する動きが政府をあげて活発となってきている。ゼロカーボンとは温室効果ガスの排出量と吸収量を差し引きでゼロにするという概念である。ゼロカーボン社会の達成には温室効果ガス、主に二酸化炭素の排出量を減らすための**省エネ行動**が重要であり、本研究ではその中でも宅内の省エネ行動について着目した。省エネ行動を宅内の個人に推進するために様々なアプリを企業が開発しているが、地域の平均電力量など他世帯データの統計量との比較を行うものが多く、**個人適応があまりなされていない**。省エネ行動推進による効果を最大化するためには、個人の生活様式や習慣に基づいて省エネ行動を提案することが必要である。また、家電別のデータを取得できないため、家電に応じた通知ができない。さらに、テキスト形式で通知されるためユーザが気づかない場合があるといった問題点もある。

これらの問題点をふまえ、本研究では宅内を対象に個人に適応した省エネ行動を推進する手法を提案することを目的とする。キーアイデアは **IoT (Internet of Things) デバイス** を用いた消費電力管理サービスと**仮想エージェント (Virtual Agent : VA)** を用いた省エネ行動推進サービスの連携である。提案手法は以下の3つのアプローチによって構成される。

A0 : 宅内への IoT デバイスの配備

宅内の家電別の消費電力の取得と制御を行うために、IoT デバイスを家電ごとに配備する。IoT デバイスを用いることで、リアルタイムな消費電力のデータを家電別に取得でき、そのデータを消費電力管理サービスに送信することが可能である。

A1 : 消費電力管理サービス

A0 で配備した IoT デバイスから、API (Application Programming Interface) を利用して消費電力のデータを取得し管理するサービスである。このサービスでは、ユーザごとに基本的な消費電力量となるベースラインを設定でき、それと現在の消費電力との比較によって省エネ行動を推進する通知文の作成を行う。これによって、個人に適応した通知が可能になる。

A2 : VA 省エネ行動推進サービス

A1 から通知文の取得を行い、VA がユーザに通知を行うサービスである。また、通知文の内容に応じて家電を制御するかの質問をユーザに行い、その回答に応じて家電を制御する命令を A1 に送信し実際に制御を行う。これによって、ユーザはサービスからの通知により気づきやすくなる。

本研究では、上記のアプローチの有用性を評価するため、関連する3つのリサーチ・クエスチョンを設定し実験を行った。実験は2週間行い、前半の1週間は消費電力サービスのみを、後半の1週間は消費電力サービスに加えて宅内に導入した VA を被験者に利用してもらう。IoT デバイスによって実験期間中の消費電力のデータを取得する。そのデータを比較することで VA 導入により実際に消費電力量が減少するのかを検証した。

また、実験後、省エネに対する意識が高まったか、省エネ行動を実践していたかのアンケートを行い、省エネ行動が推進できていたかの評価も行った。その結果、VA 導入により消費電力量が減少する場合があることが分かった。また、ユーザの省エネ行動に対する意識を高め、実践するようになることが確認できた。これにより、消費電力を管理するサービスと連携した VA による省エネ行動の推進は有用であることが明らかになった。

2. 準備

2.1 ゼロカーボン

近年、地球温暖化などの気候変動が問題となっている。世界の平均気温は2020年時点で、工業化以前(1850~1900年)と比べ、既に約1.1℃上昇している。地球温暖化により、豪雨や猛暑のリスクが高まり、さらに、様々な産業への影響が出ると考えられている。この気候変動の原因となっている温室効果ガスは、経済活動と日常生活に伴い排出されており、個人の衣食住や移動といったライフスタイルによる排出量が全体の約6割を占めるという分析結果も報告されている。この問題を解決するため、2020年10月に政府は2050年までに温室効果ガスの排出量と吸収量を差し引きでゼロにする、**ゼロカーボン (カーボンニュートラル)** の社会を目指すことを宣言した [?]. ゼロカーボンを達成するためには温室効果ガス、特に CO₂ の排出量をできる限り削減することが重要であり、エネルギーとも密接に関係している。

2.2 電力可視化アプリ

現在、エネルギー削減に向けて宅内での消費電力を可視化し、ユーザに省エネ行動を推進するアプリを様々な企業が開発している。具体的には関西電力の「はぴeみる電」[?], 東京電力の「くらし TEPCOWeb」[?] 等が存在する。これらのアプリでは、宅内での消費電力のグラフや消費予測を見ることができ。また、消費電力量に基づいてアラートを通知することが可能である。

2.3 個人適応の重要性

エネルギー削減をサービスを利用するユーザに推進するためには、画一的ではなく**個人に適応した推進手法**を打ち出すことが重要である。個人の生活様式や習慣、環境等を考慮することで、持続可能な無理のない省エネ行動の推進が可能になる。例えば、夏季のエアコンの温度を28℃に設定することを全ユーザに推進したとする。一部のユーザにとっては快適な温度設定である一方で、他のユーザにとっては不快感を与える可能性がある。特に暑がりの人や、健康上の理由で特定の温度設定が必要な人にとっては、一律の温度設定が適切でない場合がある。そのため、ユーザー一人ひとりの特性を理解し、それに基づきカスタマイズされた省エネ行動を提案する手法を考えることが必要である。

2.4 利用した技術

2.4.1 IoT デバイス

電子機器や家電等の日常的に使うモノの状況をセンサなどで計測し、クラウド上でそれらの情報を処理、変換、分析、連携することができる概念を **IoT (Internet of Things)** と呼ぶ。

この技術を用いることで、機器の消費電力をリアルタイムに取得し、分析することが可能になり、データ分析の効率化が望める。近年、IoT は電気機器、エネルギー、製造、農業といった様々な産業で取り入れられており、より高い価値やサービスが生み出されている [?]。IoT の技術を使用したデバイスは **IoT デバイス** と呼ばれ、モノの状況を計測するために用いられる。

2.4.2 API

API (Application Programming Interface) とは、あるプログラムの機能や管理するデータ等を、外部の他のプログラムから呼び出して利用し共有することができるものである。API の中でも、Web 上に公開されており外部から利用可能なものを **Web API** と呼ぶ。Web API を利用することで、個人や企業が開発したサービスの機能を、自身が開発したサービス内で使用することが可能となる。これにより、ソフトウェア開発の効率化やセキュリティの向上につながる [?]

2.4.3 仮想エージェント

我々の研究グループでは、**仮想エージェント (Virtual Agent: VA)** を用いた研究を行っている。仮想エージェントとは音声認識技術を用いたプログラムで、人型の映像とチャットが画面内に映し出され、ユーザとの対話が可能である。この技術により、ユーザに対してマルチモーダルな情報の伝達が可能である。マルチモーダルとは、音声や映像、テキスト等の様々な手段で情報を伝えることである。図 1 に VA の画像を示す。



図 1: 仮想エージェントの画像 (Copyright 2009-2018 Nagoya Institute of Technology (MMDAgent Model “Mei”)) [?]

2.5 着目する問題と課題

消費電力のデータを管理し、省エネ行動を推進する現行のアプリには、以下の 3 つの問題点が存在する。

P0: 家電別の消費電力のデータを取得できない

現行のアプリでは、家電別の消費電力のデータを取得する設計になっていないという問題点がある。家電に応じたより最適な省エネ行動を提案するためには、家電別の消費電力を取得することが必要である。

P1: 個人に適応した省エネ行動の通知を行っていない

現行のアプリでは、地域の平均電力量や他世帯データの統計量などのデータと比較して、省エネ行動の通知を行っていないという問題点がある。ユーザに持続可能な無理のない省エネ行動を推進するためには、ユーザ個人の消費電力のデータを取得し、より個人に適応した通知を行うことが重要である。

P2: 通知がテキスト形式で送信されるため気づきにくい

現行のアプリは、省エネ行動を推進する通知をテキスト形式

で送信するため、ユーザがその通知に気づきにくいという問題点がある。ユーザが省エネ行動を行うためには、通知に気づくようなサービス設計にすべきである。

これらの点を踏まえて解決すべき課題をまとめると、個人の家電別の消費電力のデータを取得し、そのデータから個人に適応した省エネ行動を提案する通知文の作成を行い、その通知にユーザが気づくような手法を構築することである。

3. 提案手法

3.1 目的とアプローチ

本研究の目的は、宅内を対象に個人に適応した省エネ行動を推進する手法を提案することである。本研究のキーアイデアは、VA と消費電力を管理するサービスを連携し、マルチモーダルな通知を行うことである。

目的を達成するために以下の 3 つのアプローチを提案する。

A0: 宅内への IoT デバイスの配備

A1: 消費電力管理サービス

A2: VA 省エネ行動推進サービス

3.2 全体アーキテクチャ

上記の目的を達成するための全体アーキテクチャを図 2 に示す。

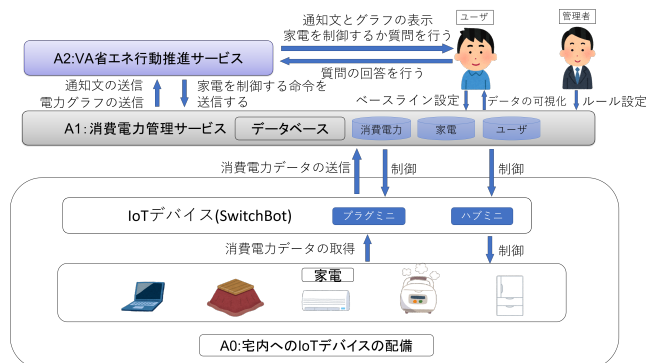


図 2: 全体アーキテクチャ

全体アーキテクチャの概説を以下に行う。

IoT デバイスを用いて家電から消費電力のデータの取得を行い、消費電力管理サービスにそのデータを送信する。消費電力管理サービスはユーザが設定したベースラインと管理者が設定したルールをもとに通知文を作成し、VA 省エネ行動推進サービスに送信する。また、ユーザに消費電力のデータを可視化できる。VA 省エネ行動推進サービスは、通知文はユーザに送信し、また、家電を制御するかどうかの質問を行う。ユーザの回答に応じて、家電を制御する命令を消費電力管理サービスに送信し、IoT デバイスの制御による家電の制御を行う。

3.3 A0: 宅内への IoT デバイスの配備

家電ごとの消費電力のデータを収集し、また、家電の制御を行うために、宅内に IoT デバイスの配備を行う。IoT デバイス

を用いることで、リアルタイムな消費電力のデータを取得できる。また、そのデータを API を利用してサービスに送信することが可能であり、消費電力の分析や家電別の最適な省エネ行動の提案に利用される。例えば、データの収集には SwitchBot プラグミニ (JP) を、家電の制御にはプラグミニと SwitchBot ハブミニを用いることができる [?].

図 3 に SwitchBot 社の IoT デバイスを示す。



(a) SwitchBot プラグミニ (JP) (b) SwitchBot ハブミニ

図 3: 宅内に配備する IoT デバイス

3.4 A1: 消費電力管理サービス

家電から収集した消費電力のデータを管理するために消費電力管理サービスの構築を提案する。

このサービスは、ユーザごとの消費電力の管理が可能である。宅内に配備された IoT デバイスの API を利用することで消費電力量を取得し、データベースへの保存を行う。また、API による家電の制御も可能である。

消費電力管理サービスの特徴として、ユーザによるベースラインの設定が可能である。ベースラインとは、ユーザの基本的な消費電力量であり、このベースラインとの比較によりユーザにテキストによる通知を行う。比較の結果、どのような通知を行うかは管理者がそのルール設定を行う。ベースラインには設定した期間の消費電力の平均値が 1 時間単位で登録され、1 時間おきにその時点での消費電力との比較を行う。例えば、1 週間の消費電力のデータをベースラインと設定し、その期間の午前 8 時の消費電力量の平均が 1.0kWh であったとする。この時、現在時刻が午前 9 時となったタイミングでベースラインとの比較が行われ、午前 8 時の消費電力量が 1.2kWh であった場合、ベースラインと比較して 20 % 増加していることになる。

通知文には、どの家電がベースラインと比較してどの程度、消費電力量が増加または減少したかが含まれ、増加している場合は消費電力量を減らすためのアドバイスを、増加している場合はユーザを称賛する内容を含める。通知文はサイト内での表示が可能である。

また、消費電力管理サービスでは消費電力のデータをユーザに様々な形で可視化できる。

消費電力管理サービスによりユーザは、ベースラインの設定による個人に最適化した通知文の取得と、リアルタイムな消費電力量と過去のグラフを見ることができる。

3.5 A2: VA 省エネ行動推進サービス

消費電力管理サービスと連携を行い、ユーザに省エネ行動を推進するために、VA 省エネ行動推進サービスの提案を行う。

このサービスでは、消費電力管理サービスの API を用いることでユーザごとの通知を取得し、VA が通知文の発話を行う。また、消費電力量が増加している場合は、家電を制御するかどうかの質問をユーザに行う。その回答に応じて家電を制御する命令を API を利用して消費電力管理サービスに送信する。さらに、消費電力管理サービスから取得した電力グラフの表示と消費電力管理サービスのサイトの表示が可能である。

このサービスによりユーザは、消費電力管理サービスのサイトの表示を行うことなく通知文を取得でき、さらに、マルチモーダルな通知をユーザに行うので、省エネ行動の推進につながると考えられる。

3.6 全体の流れ

ユーザに通知文を送信し、家電の制御を行うまでの全体の流れを以下に示す。

- (1) 宅内に配備したプラグミニから家電の消費電力とデバイスのデータを取得し、消費電力管理サービスに送信する。
- (2) 取得したデータをデータベースに保存し、ユーザが設定したベースラインとの比較を行い、管理者が設定したルールに基づいて通知文の作成を行う。
- (3) 作成した通知文を VA 省エネ行動推進サービスに送信し、ユーザに対して通知と家電を制御するかどうかの質問を行う。
- (4) 質問の回答に応じて、家電を制御する命令を消費電力管理サービスに送信し、プラグミニとハブミニに対して制御を行う。

4. 実装

3 章で述べた提案手法の実装は以下のように行った。

4.1 宅内への IoT デバイスの配備

消費電力データの収集には 3.3 節で述べた SwitchBot プラグミニ (JP) を、家電の制御にはプラグミニと SwitchBot ハブミニを用いた [?]. プラグミニは家電のコンセントとプラグの間に接続し、ハブミニは USB A による接続を行う。配備を行った後、SwitchBot アプリを用いてプラグミニとハブミニとの Bluetooth 接続を行い、プラグミニのデバイスの名前に家電名を設定する。プラグミニは SwitchBot 社の提供する API を利用することで消費電力のデータを取得することができ、電源のオンオフを遠隔で行うことも可能である。ハブミニは API を使用することで、様々な家電にリモコンと同じように遠隔で命令を送信できる。

4.2 消費電力管理サービスの実装

消費電力管理サービスの開発には SpringBoot [?] フレームワークを用い、プログラミング言語には Java [?], JavaScript [?] を、データベースには MySQL [?] を使用した。

このサービスは、ID とパスワードによるユーザのログイン機能を有している。宅内に配備された SwitchBot 社の API を利用することで、1 分おきに消費電力量と接続されている家電

のデータを取得し、データベースへの保存を行う。また、APIによる家電の制御も可能である。

基本的には、ユーザが設定したベースラインと現在の消費電力量との比較によって通知文の作成が行われる。しかしながら、こたつや炊飯器、PC等に関しては電源をオフにする以外の方法で、ユーザの働きかけにより消費電力量を減らすことは難しい。そのため、管理者が設定した時間以上の間、電源をオンにしている場合に通知を行うよう設計した。また、全体としての消費電力量の増加量（減少量）、CO₂の増加量（削減量）がどの程度なのかの通知も行う。通知文はサイトのトップページにデバイスの状態と共に表示される。

また、このサービスでは1時間おき、日おきの消費電力の棒グラフと、1日の家電別消費電力の円グラフを自動的に作成し、可視化することが可能である。円グラフとともに、家電別の消費電力量、使用時間、それぞれの前日比の表も表示され、コメントを記入することが可能である。

開発を行った消費電力管理サービスの画面を図4～図6に示す。



図 4: 消費電力管理サービスサイトのトップページ

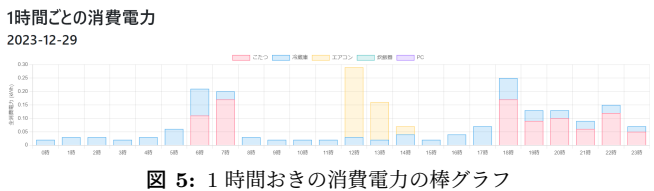


図 5: 1時間おきの消費電力の棒グラフ

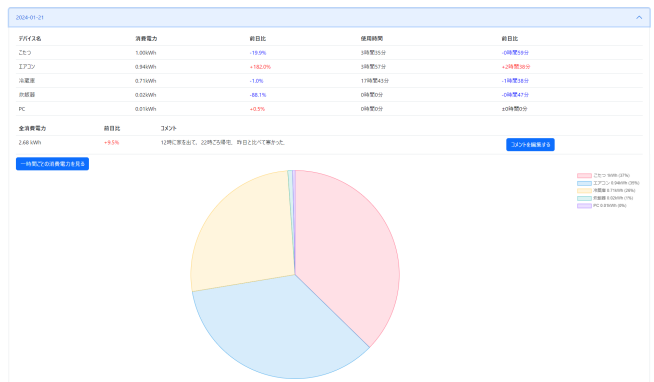


図 6: 1日の消費電力の円グラフ

4.3 VA 省エネ行動推進サービスの実装

VA 省エネ行動推進サービスの開発については、プログラミ

ング言語に JavaScript [?] を用いた。我々の研究グループで開発を行っている VA 「メイちゃん」 [?] に省エネ行動推進サービスの機能を追加することで、実装を行った。開発を行った VA 省エネ行動推進サービスの画面を図7と図8に示す。



図 7: 通知の伝達を行う VA



図 8: 家電を制御するかどうかの質問を行う VA

5. 評価実験

5.1 実験の概要

本研究では、VA を用いた省エネ行動の推進が有用であるかを検証するために評価実験を行った。評価を行うために以下のように RQ (リサーチ・クエスチョン) を設定し、その結論を出す。

RQ1: VA を導入することで消費電力量は減少するか?

RQ2: VA を導入することで省エネに対する意識は高まるのか?

RQ3: VA を導入することで省エネ行動を実施するようになるのか?

被験者には我々の研究室のメンバーに協力していただき、22歳、23歳、25歳の男子学生3人を選出した。それぞれを被験者 A, B, C とする。VA 導入前後の評価を行うため、まず被験者は宅内に IoT デバイスを配備し、消費電力管理サービスのみを1週間利用して消費電力のデータを取得した。これをベースラ

イン期間とする。その後、初めの1週間分のデータをベースラインとして設定してからVAを被験者の宅内に導入して1週間利用し、消費電力のデータを取得した。これをVA導入期間とする。取得した消費電力のデータの期間内の総消費電力を比較しRQ1の検証を行った。さらに、被験者全員が共通してIoTデバイスを配備した家電に関しては、期間内の総消費電力の比較を行った。RQ1を実証するためにはベースライン期間よりVA導入期間の方が、消費電力量が少なくなることが望ましい。

5.1.1 実験期間

実験期間は以下のように設定した。

- ベースライン期間
 - 被験者 A : 12/21~12/27
 - 被験者 B : 12/23~12/29
 - 被験者 C : 12/28~1/3
- VA 導入期間
 - 全員 : 1/12~1/18

5.1.2 IoT デバイスの配備

実験開始前にIoTデバイスの配備を行った。プラグミニを配備した家電は以下のとおりである。

- 被験者 A : PC, エアコン, 冷蔵庫, 電子レンジ, テレビ
- 被験者 B : PC, エアコン, 冷蔵庫
- 被験者 C : PC, エアコン, 冷蔵庫, ディスプレイ, 電気ヒーター

また、各宅内にハブミニの配備も行った。

5.1.3 アンケートの実施

RQ2, RQ3の検証を行うために実験後、以下のアンケートを行った。

Q1: VAを利用する前後で、省エネに対する意識にどのような変化がありましたか？

Q2: VAを導入する前に、どの程度通知された省エネ行動を実施していましたか？

Q3: VAを導入した後に、どの程度通知された省エネ行動を実施していましたか？

Q1は1. 非常に低下した, 2. 低下した, 3. 変わらない, 4. 高まった, 5. 非常に高まったの5段階で評価を行った。また、Q2とQ3は1. 全く実施していない, 2. ほとんど実施していない, 3. 時々実施していた, 4. 常に実施していたの4段階で評価を行った。Q1はRQ2の検証に、Q2とQ3はRQ3の検証に対応する。

5.1.4 ルール設定

消費電力管理サービスが通知文を作成する時のルールは以下のように設定した。

- 冷蔵庫, エアコン

- 1時間当たりの消費電力が同時刻のベースラインより20%以上増加したとき：
増加量(%)と消費電力を減らすためのアドバイスを通知する。
エアコンは自動に設定するか、電源をオフにするかどうかの質問を行う。
- 1時間当たりの消費電力が同時刻のベースラインより20%以上減少したとき：
減少量(%)とユーザを称賛する内容を通知する。

• PC, 電気ヒーター

- 2時間半以上電源がオンになっているとき：
長時間オンになっていることを通知する。
電源をオフにするかどうかの質問を行う。

5.2 実験結果

被験者 A, B, C について、期間内の消費電力の総和について比較を行った結果を図9に示す。また、被験者全員がIoTデバイスの配備を行った冷蔵庫, PC, エアコンの期間内消費電力の総和について比較を行った結果を図10~図12に示す。

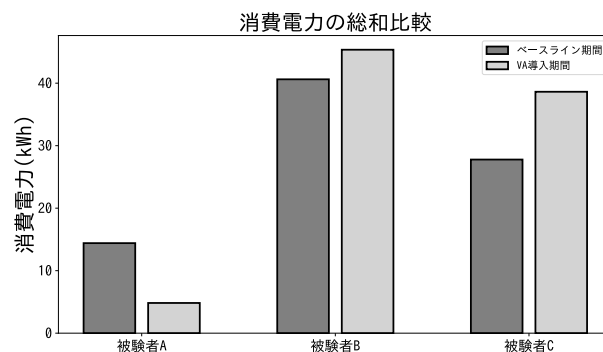


図9: 被験者ごとの消費電力の期間別総和比較

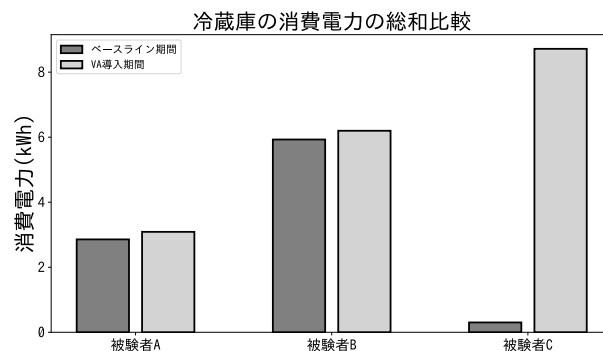


図10: 被験者ごとの冷蔵庫の消費電力の期間別総和比較

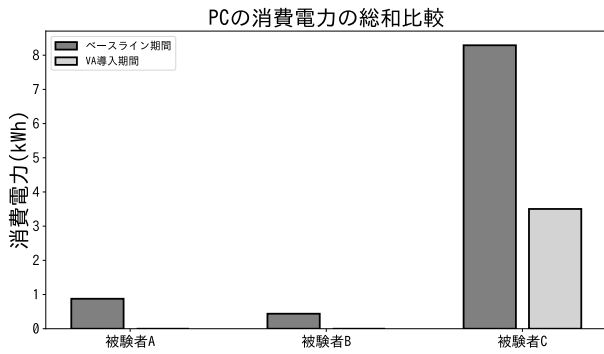


図 11: 被験者ごとの PC の消費電力の期間別総和比較

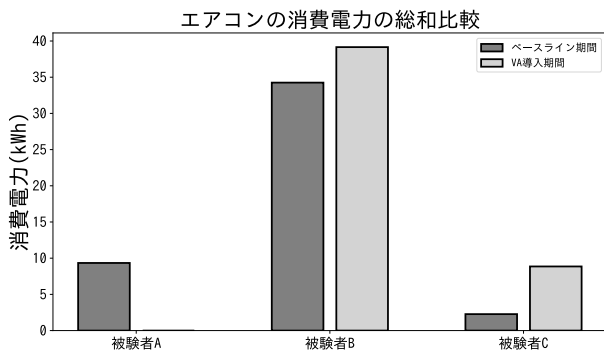


図 12: 被験者ごとのエアコンの消費電力の期間別総和比較

また、アンケートの結果を以下に示す。

- 被験者 A
 - Q1: 4. 高まった
 - Q2: 1. 全く実施していない
 - Q3: 3. 時々実施していた
- 被験者 B
 - Q1: 5. 非常に高まった
 - Q2: 1. 全く実施していない
 - Q3: 2. ほとんど実施していない
- 被験者 C
 - Q1: 4. 高まった
 - Q2: 1. 全く実施していない
 - Q3: 4. 常に実施していた

5.3 考察

5.3.1 RQ の評価

初めに RQ1 の評価を行う。期間内消費電力の総和比較のグラフに関しては、被験者 A は VA 導入期間の方が消費電力量が極端に少なく、被験者 B と C については VA 導入期間の方が消費電力量が増加している。

次に、家電別の消費電力総和のグラフに関して考察する。冷蔵庫に関しては、全員が VA 導入期間の方が消費電力量が増加

している。被験者 C のベースライン期間における冷蔵庫の消費電力量が極端に少ない理由を尋ねたところ、冷蔵庫をほとんどオンにしていなかったとのことだった。PC に関しては、全員が VA 導入期間の方が少なくなっている。これは VA による PC を長時間オンにしているという通知の効果があったと考えられる。エアコンに関しては、被験者 A のみ VA 導入期間の方が減少しているが、被験者 B, C に関しては増加している。被験者 A は VA 導入期間に、エアコンをオンにしていなかった。

また、被験者 C の消費電力のデータに VA 導入による効果があったと考えられる部分があったため考察する。被験者 C について、VA 導入期間の家電別の日別総消費電力を図 13 に示す、

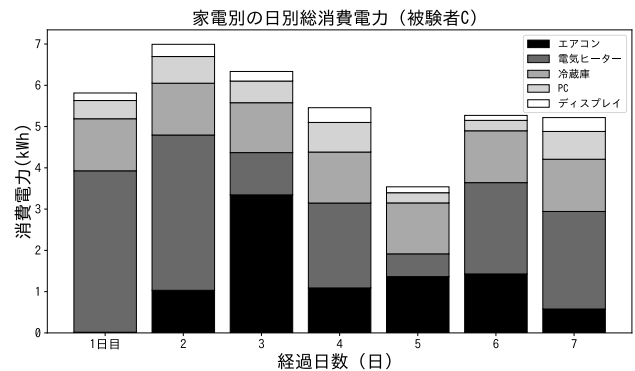


図 13: 被験者 C の VA 導入期間における家電別の日別総消費電力

このグラフから、電気ヒーターの消費電力量が 2 日目から 3 日目にかけて大きく減少していることが分かる。このことに関して、被験者 C にインタビューを行ったところ、「VA に電気ヒーターが長時間オンになっていることを通知されたため利用をやめた」との回答があった。したがって、VA の導入による消費電力量減少の効果があったといえる。また、この結果は RQ2 や RQ3 の実証にもつながる。

これらの考察から、時間帯別、日別、期間内総消費電力量の比較では、VA 導入により消費電力量が減少しているとはいえなかった。しかしながら、特定の家電においては VA 導入により消費電力量が減少していた。よって、RQ1 の実証につながる部分があったといえる。

次にアンケートの結果から RQ2 と RQ3 の評価を行う。Q1 の回答では 4. 高まった、が 2 人、5. 非常に高まった、が 1 人と肯定的な意見が多く、省エネに対する意識は VA 導入により高めることができたことが分かる。また、Q2 の回答では全員が 1. 全く実施していない、としているのに対し、Q3 の回答では被験者 A~C それぞれが 3. 時々実施していた、2. ほとんど実施していない、4. 常に実施していた、と回答しているため、VA 導入により省エネ行動をユーザに実施させることができるようになったといえる。よって RQ2 と RQ3 の評価に関しては、前向きな兆候が見られたと考えられる。

5.3.2 課題

本研究の課題として、まず 5.3.1 項で述べた RQ1 の評価より、VA の導入により全体として消費電力量が減少することがい

えなかったことがあげられる。原因としては、主に環境要因の影響と分析期間の短さがあげられる。まず環境要因について考えると、ベースライン期間と VA 導入期間を比較するにあたって気温や天候といった外部条件が消費電力量に直接影響を及ぼす場合がある。例えばベースライン期間より VA 導入期間の方が気温が低い場合、暖房やヒーターの使用時間は増加することになる。実際に、被験者にインタビューを行ったところ「VA 導入期間の方が寒かった」との回答があった。そこで、気象庁のデータ [?] を利用して被験者 B の在住する神戸市と被験者 C の在住する大阪市について実験期間内の平均気温について調査を行った。その結果を図 14 に示す。

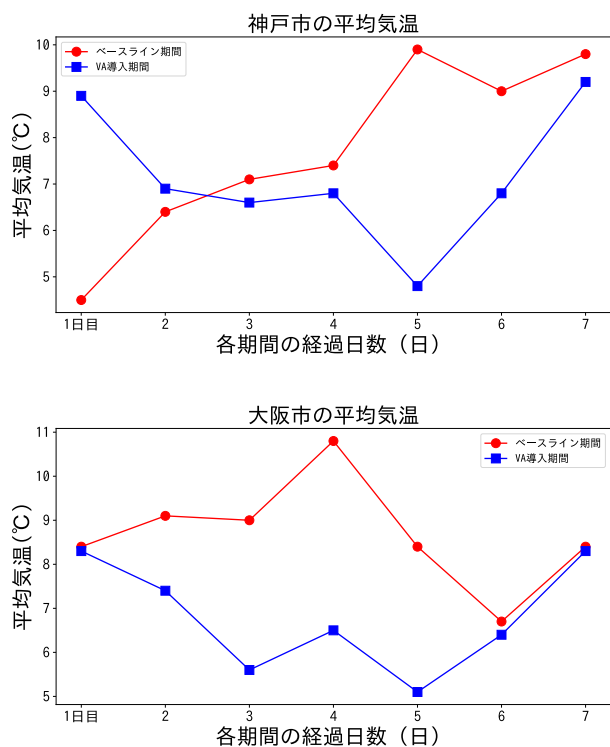


図 14: 被験者が在住する地域の実験期間内における平均気温

グラフから、神戸市では7日間で5日間、大阪市では7日間全日についてベースライン期間よりも VA 導入期間の方が平均気温が低くなっていることが分かる。よって、消費電力量の増加は気温の変化による要因があったと考えられる。次に分析期間の短さに関しては、1週間程度という短期間のデータでは特定の日のみのイベントや在宅時間の増加などが大きく影響を及ぼす可能性があり、これにより本質的な消費電力量の変化を見落すことにつながる。したがって、環境要因を考慮し、分析期間を長くすればより良い結果が得られると考えられる。

また、被験者が限定的であることが課題としてあげられる。本実験の被験者は研究室のメンバー3人のみでありユーザの多様性がほぼないため、ユーザの人数や幅を広げることでまた異なる結果が出ると考えられる。

6. まとめ

本研究では、個人に適応した宅内での省エネ行動を推進可能

にすることを目的として、IoT デバイスを用いた消費電力を管理するサービスと VA による省エネ行動を通知するサービスを開発しそれらの連携を行った。また、その有用性を評価するために、宅内に IoT デバイスを配備して VA を導入する実験を行い、VA の導入前後における消費電力量の比較と省エネ行動に関するアンケートを行った。結果として、VA 導入により消費電力量が減少する場合があることを確認できた。さらに、ユーザの省エネに対する意識が高まり、省エネ行動を実施するようになることが分かった。したがって、省エネ行動の推進には VA 導入が有用であるといえる。

今後の展望として、消費電力管理サービスにおいて、ユーザによる通知文作成のルール設定を可能にすることがあげられる。これにより、ユーザは自分の特性にあった持続可能な無理のない省エネ行動が可能となると考えられる。次に、消費電力のデータから、ユーザの特性に合わせて自動的にルールが設定可能にすることがあげられる。本研究では、実験期間が短かったため消費電力のデータをあまり取得できなかったが、消費電力のデータを大量に取得し自動的なルール設定を可能にすることで、利便性が向上すると考えられる。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 JP19H01138, JP20H05706, JP20H04014, JP20K11059, JP22H03699, JP19K02973, 若手研究 23K17006 の助成を受けて行われている。