

大規模言語モデルを用いたユーザ発話分析に基づく 個人適応型省エネ行動推進システムの提案

平井 駿[†] 佐伯 幸郎^{††} 陳 思楠[†] 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@es4.eeddept.kobe-u.ac.jp, ^{††}saiki.sachio@kochi-tech.ac.jp, ^{†††}chensinan@gold.kobe-u.ac.jp,
^{††††}masa-n@cmds.kobe-u.ac.jp

あらまし 近年、地球温暖化をはじめとする気候変動が大きな問題となっており、世界の平均気温は上昇の一途を辿っている。これに対し日本政府はCO₂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社会の実現を宣言した。この目標達成には省エネが重要な要素となるが、本研究では特に一般家庭における省エネ行動に焦点を当てることとする。先行研究として、システムとユーザが対話を行いながら省エネ行動を推進する手法の提案が行われている。しかし、この手法には決められた応答しかできない、作成コストの高い3Dモデルを利用している、在宅判定ができないといった問題点が存在する。これらの問題点をふまえ、本研究では大規模言語モデルとLive2Dを用いたシステムEcoWizの提案を行う。また、人感センサとPub/Subを用いることで在宅判定と定期通知を実現する。提案手法を元にシステムの実装を行い、ケーススタディを通じてシステムの動作を確認した。

キーワード ゼロカーボン、省エネ行動、大規模言語モデル、Live2D

A Proposal for a Personalized Energy-Saving Behavior Promotion System Based on User Utterance Analysis Using Large Language Models

Shun HIRAI[†], Sachio SAIKI^{††}, Sinan CHEN[†], 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@es4.eeddept.kobe-u.ac.jp, ^{††}saiki.sachio@kochi-tech.ac.jp, ^{†††}chensinan@gold.kobe-u.ac.jp,
^{††††}masa-n@cmds.kobe-u.ac.jp

Abstract In recent years, climate change, particularly global warming, has become a major concern, with global average temperatures continuing to rise. In response, the Japanese government has declared its commitment to achieving a zero-carbon society where the difference between CO₂ emissions and absorption becomes zero. While energy conservation is crucial for achieving this goal, this research specifically focuses on energy-saving behaviors in general households. Previous research has proposed methods to promote energy-saving behaviors through dialogue between systems and users. However, these methods have several issues: they can only provide predetermined responses, they use costly 3D models, and they cannot determine whether users are at home. Considering these issues, this research proposes EcoWiz, a system utilizing large language models and Live2D. Additionally, the system implements presence detection and periodic notifications using motion sensors and Pub/Sub architecture. Based on the proposed method, we implemented the system and verified its operation through case studies.

Key words Zero carbon, Energy-saving behavior, Large language model, Live2D

1. はじめに

現在、地球温暖化をはじめとした気候変動が世界的に大きな問題となってきている。世界の平均気温は上昇し続けており、海面上昇や異常気象など様々な問題を引き起こしている。このような問題を解決するために、日本政府は**ゼロカーボン**社会の実現を目指すことを宣言した [1]。ゼロカーボン社会とは、CO₂の排出量と吸収量を差し引きでゼロにする社会のことであり、実現のためにはエネルギー削減が必要である [2] [3]。本研究では、その中でも宅内の省エネ行動に着目した。先行研究として、消費電力管理サービスと省エネ行動推進サービスを連携した省エネ行動推進手法の提案がなされているが、この手法には以下の問題点がある。

P1: 決められた応答しかできない

P2: 仮想エージェントとしての 3D モデルの利用

A3: 在宅判定ができない

これらの問題点をふまえ、本研究では従来の手法を元に新たなシステム **EcoWiz** を提案する。提案されたシステムは以下の 4 つのアプローチを用いて構築されている。

A1: 大規模言語モデル (LLM) を用いた応答

ユーザの発話を大規模言語モデル (LLM) を用いて分析し、適切な文章を生成することで、ユーザとの対話における柔軟性を高める。

A2: Live2D の利用

サービスの仮想エージェントに Live2D を用いることで、モデルやアニメーション作成のコストを削減し、より個人に適用したサービスを提供する。

A3: 人感センサによる在宅判定

ユーザの在宅判定を行うために、人感センサを利用する。在宅している場合のみ通知を行うことが可能となり、省エネ行動の推進につながる。

A4: Pub/Sub による定期通知

消費電力管理サービスの通知を定期的に取得するために、Pub/Sub を利用する。ユーザはシステムからの通知を定期的に受け取ることができる。

本研究では、上記のアプローチを元にシステムの実装を行った。またケーススタディでは、実装したシステムによりユーザとの対話や省エネ行動の通知が正しく行われるかを検証し、動作を確認した。

2. 準備

2.1 地球温暖化とゼロカーボン

近年、気候変動、特に地球温暖化といった気候変動が世界的に深刻な問題となっている。調査結果によれば、2020 年時点における地球の平均気温は、産業革命前 (1850 年～1900 年) と比べ約 1.1 °C の上昇を記録している。この温暖化現象は、豪雨の激化や熱波の頻発をもたらし、産業界の広範な領域に重大な影響を及ぼしている。この地球温暖化の根本的要因である温室効果ガスは、経済活動および日常生活から継続的に排出されている。注目すべきことに、人々の衣食住や移動といった基本的

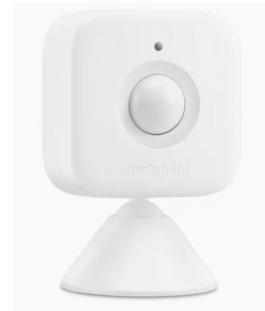


図 1 SwitchBot 人感センサ

な生活行動から生じる排出が、全体の約 6 割を占めているとする分析結果が示されている。これらの課題に対応するため、日本政府は 2020 年 10 月、2050 年までに温室効果ガスの排出と吸収を差し引きでゼロとする**ゼロカーボン** (カーボンニュートラル) 社会の実現を目指すことを宣言している [1]。この目標の達成には、特に CO₂ などの温室効果ガスの排出量を大幅に削減することが不可欠であり、これはエネルギー問題とも密接に関連している [2] [3]。

2.2 Live2D

Live2D とは、株式会社 Live2D が開発したアニメーションツールで、2D キャラクターの面を動かすことでアニメーションをつけることが可能である [4]。この技術により、キャラクターを 3D 制作するよりも、より原画の画風を保ったままで動かすことができ、さらに低コストでの制作が可能となる。Live2D Cubism Editor は、Live2D のモデリングツールであり、モデルの作成やアニメーションの設定を比較的容易に行うことができる [5]。作成したモデルやアニメーションは Live2D Cubism SDK を利用することで、アプリケーション上での描画が可能となる [6]。

2.3 ChatGPT

大規模言語モデル (LLM) はここ数年で目覚ましい発展を遂げており、様々なモデルの中でもとりわけ **ChatGPT** が注目を浴びている。ChatGPT は OpenAI が開発した LLM で、対話型のタスクに特化したモデルであり、ユーザとの対話を通じて自然な対話を生成することが可能である。また OpenAI は ChatGPT の API を提供しており、容易にサービスに組み込むことが可能である。ChatGPT は他モデルと比較して、自然言語処理に優れており、ユーザの対話に応じて柔軟な対話が可能である [7]。

2.4 SwitchBot 人感センサ

人間の動きを赤外線で感知できる IoT デバイスとして、**SwitchBot 人感センサ**がある。このセンサは人間の動きを感知すると、設定されたアクションを実行することが可能である。アクションの一つとして、感知した際に Webhook により特定の API を呼び出すことが可能である。これにより、様々なサービスと連携したシステムを構築できる [8]。SwitchBot の人感センサを図 1 に示す。

2.5 Pub/Sub

メッセージングシステムの一つである **Pub/Sub** は、メッセージの送信者と受信者を分離することで、非同期通信を実現する

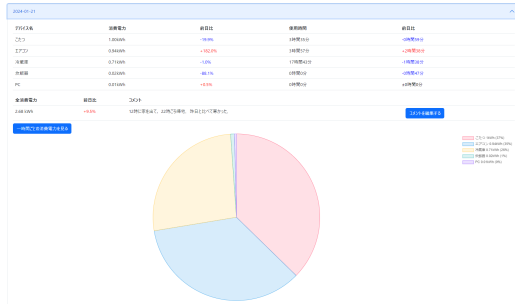


図2 消費電力管理サービスの画面（1日あたりの消費電力のグラフと表）[10]

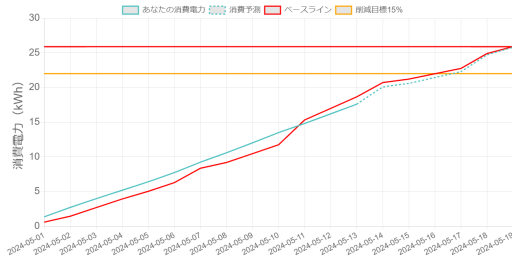


図3 消費電力管理サービスの画面（削減目標グラフ）[11]

システムである。Pub/Sub は、メッセージの送信者がメッセージをトピック（Topic）に送信（Publish）し、トピックに登録（Subscribe）している受信者がそのメッセージを受信する。このシステムにより、受信者は定期的にメッセージが届いているかを確認する必要がなく、応答時間の短縮が可能となる。

2.6 先行研究

2.6.1 消費電力管理サービス

先行研究として、省エネ行動を推進するために**消費電力管理サービス**の開発を行った。このサービスはIoT デバイスを用いて取得した家電別消費電力データを管理するサービスである。消費電力管理サービス上では、ベースラインが自動的に設定される。ベースラインはユーザーの基本的な消費電力量を表し、実際の消費電力とベースラインとを比較して通知文の作成が行われる。このベースラインは機械学習を用いた消費電力予測により予測された将来の消費電力量に一定の係数をかけた値が設定される。この係数はユーザーのフィードバックにより調整され、個人に適応したベースラインの設定と通知文の作成を可能にしている。また、消費電力管理サービスは、消費電力データをグラフや表などの多様な形式で可視化し、ユーザーに提示する機能を有する。加えて、IoT デバイスを通じて家電の制御も可能である。消費電力の可視化が省エネ意識の向上に寄与することは知られている [9]。このサービスを通じて、ユーザーは個人に適応したベースラインを設定し、それに基づく通知を受け取ることができる [10]。消費電力管理サービスの画面を図2と3に示す。

2.6.2 省エネ行動推進サービス

省エネ行動推進サービスは、仮想エージェント (VA) を用いて消費電力管理サービスから取得した通知文を発話により伝達するサービスである。我々の研究室では、仮想エージェントに3D モデル「メイちゃん」を利用している。このサービスでは、

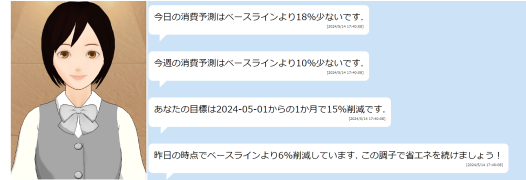


図4 省エネ行動推進サービスの画面 [10]

一時間おきにユーザーが在宅しているかをセンサーで確認し、在宅している場合は通知を行う。また、システムからの質問に回答することで家電の操作が可能である。さらに、ユーザーはこのサービスで削減目標を設定でき、一定期間内に削減する消費電力の目標を確認することができる [10]。省エネ行動推進サービスの画面を図4に示す。

2.7 先行研究の問題点

先行研究では以下の3つの問題点があげられる。

P1: 決められた応答しかできない

現行の省エネ行動推進サービスでは、通知文の伝達や家電の操作などは可能であるが、ユーザーはシステムから家電の操作するか聞かれたときに「はい」「いいえ」といった決められた応答しかできない。また、ユーザーから通知文の取得や家電の操作を求める発話はできず、決められた時間にしかできない。システムに関しても、あらかじめ管理者が設定した文章のみを伝達するようになっている。より個人に適応したサービスを実装するには、ユーザーとの対話における柔軟性を高める必要がある。

P2: 仮想エージェントとしての3Dモデルの利用

先行研究では、仮想エージェントに3Dモデル「メイちゃん」を利用している。3Dモデルを利用することで、よりリアルな表情や動きを表現することが可能であるが、モデルやアニメーションの作成にコストがかかってしまうという問題点がある。ユーザーそれぞれに適応したサービスを提供するためには、比較的容易に様々なモデルやアニメーションを作成することができなければならない。

P3: 在宅判定ができない

先行研究における省エネ行動推進サービスでは定期的な通知を行うが、ユーザーの在宅判定はできず、在宅していない場合にも通知を行ってしまう。ユーザーが在宅判定時に通知を行うことができれば、より省エネ行動の推進につながる。

これらの問題点から解決すべき課題は、現在の省エネ行動推進サービスにおいて、ユーザーとの対話における柔軟性を高めることと、ユーザーそれぞれに適応したサービスを提供するための技術を適用することである。

3. 提案手法

3.1 目的とキーアイデア

本研究の目的は、より個人に適応した省エネ行動を推進するサービスを構築することである。キーアイデアは、大規模言語モデル (LLM) と Live2D を用いて既存のシステムを元に新たなシステムの構築を行うことである。アプローチは以下の4つで

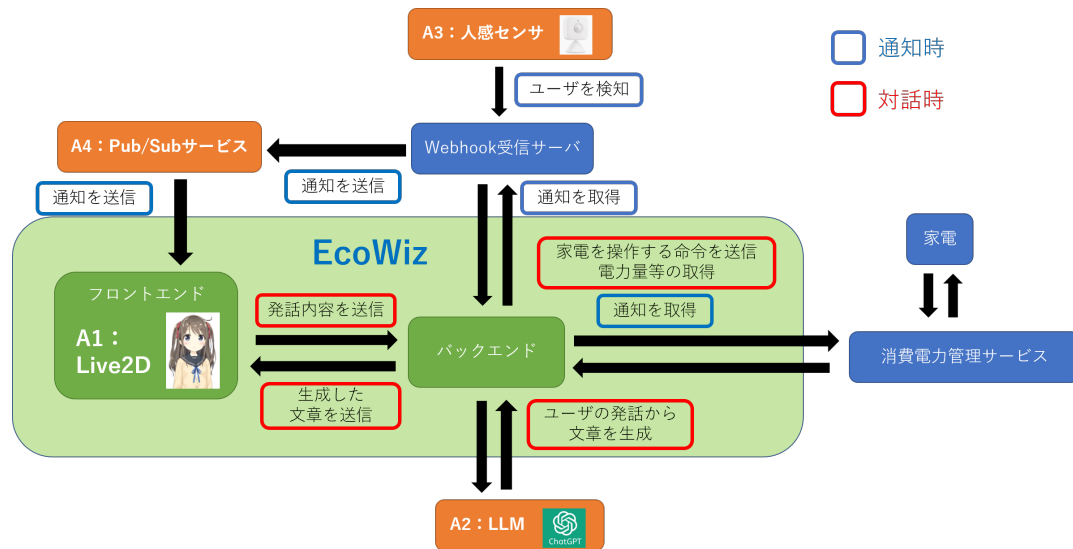


図5 全体アーキテクチャ

ある。

A1: 大規模言語モデル (LLM) を用いた応答

現行の省エネ行動推進サービスでは、ユーザとの対話において決められた応答しかできない。そこで、大規模言語モデルを用いることで、ユーザとの対話における柔軟性を高めることが期待できる。

A2: Live2D の利用

先行研究では、仮想エージェントに 3D モデル「メイちゃん」を利用しているが、モデルやアニメーションの作成にコストがかかってしまうという問題点がある。そこで、Live2D を利用することで、より容易に様々なモデルやアニメーションを作成することが可能となると考えられる。

A3: 人感センサによる在宅判定

ユーザが在宅しているかを確認するために、人感センサを利用する。これにより、ユーザが在宅している場合にのみ通知を行うことが可能となる。

A4: Pub/Sub による定期通知

消費電力管理サービスの通知を定期的に取得するために、Pub/Sub を利用する。これにより、ユーザはシステムからの通知を定期的に受け取ることができる。

これらのアプローチをふまえ省エネ行動を推進するサービス **EcoWiz** を提案する。

3.2 全体アーキテクチャ

本研究で提案するシステムの全体アーキテクチャを図5に示す。

初めに通知取得時の流れを説明する。人感センサがユーザの在宅を検知すると Webhook を受信サーバに送信する。受信サーバは EcoWiz のバックエンドに通知文を取得するリクエストを送信し、消費電力管理サービスを通じて通知文の取得を行う。取得した通知文は Pub/Sub を通じて EcoWiz のフロントエンドに送信され、ユーザに通知を行う。

次に、対話時の流れを説明する。ユーザが EcoWiz のフロントエンドに対話を行うと、対話内容はバックエンドに送信され

る。バックエンドは LLM を用いてユーザの発話内容を理解する。理解した内容に基づき、家電を操作する、もしくは消費電力量や削減量などの情報を取得する必要がある場合は、消費電力管理サービスにそのリクエストを送信する。そのレスポンスを元に、LLM を用いて応答の文章を生成する。消費電力管理サービスにリクエストを送る必要がない場合は、ユーザの発話内容から適切な文章を LLM を用いて生成し、ユーザに返信する。

3.3 A1: 大規模言語モデル (LLM) を用いた応答

ユーザの発話内容を理解し、適切な文章を生成するために大規模言語モデル (LLM) を用いる。ユーザの発話内容を LLM を通じて分析することで、家電を操作する命令を行うか、消費電力量や削減量などの情報を取得するか、そのいずれにも該当しないの3パターンに分類する。

家電を操作する場合は、どの家電をどう操作するかを発話内容から判断する。もし足りない情報がある場合は、ユーザに問い返しを行い、必要な情報を取得する。その後、消費電力管理サービスにそのリクエストを送信し家電の操作を行う。消費電力量や削減量の取得の場合は、消費電力管理サービスにリクエストを送信し、そのレスポンスを元にユーザに文章を生成し返信する。いずれにも該当しない場合は、ユーザの発話内容から適切な文章を LLM を用いて生成し、ユーザに返信する。このアプローチによりユーザとの対話における柔軟性を高め、自然な応答が可能になる。

3.4 A2: Live2D の利用

先行研究で用いていた 3D モデル「メイちゃん」の代わりに、Live2D を用いることで、より容易に様々なモデルやアニメーションを作成することが可能となる。省エネ行動に対するモチベーションを高めるための、より個人に適応した仮想エージェントを提供することが期待できる。

3.5 A3: 人感センサによる在宅判定

ユーザの在宅判定を行うために、人感センサを利用する。人感センサがユーザの在宅を検知すると、Webhook を受信サーバ

に送信する。受信サーバは、EcoWiz のバックエンドを介して消費電力管理サービスから通知文を取得する。取得した通知文は後述する Pub/Sub を通じて EcoWiz のフロントエンドに送信され、ユーザに通知を行う。これにより、ユーザが在宅している時のみ通知を行うことが可能となる。

3.6 A4: Pub/Sub による定期通知

消費電力管理サービスの通知を定期的に取得するために、メッセージングシステムである Pub/Sub を利用する。Pub/Sub サービスにはあらかじめ、省エネ行動通知用のトピックを作っておく。人感センサの Webhook を受信するサーバは、そのトピックに通知文を送信する。EcoWiz のフロントエンドはそのトピックに登録しておくことで、定期的に通知文を取得することが可能となる。

4. 実 装

提案したアプローチを元に以下のように実装を行った。

4.1 A1 の実装

Live2D モデルは、Live2D Cubism Editor を用いることで、一枚の原画から作成することができる。本研究では、Cubism Editor を用いて作成された、Live2D 社が提供するサンプルモデルである「桃瀬ひより」を使用した。Cubism Editor により作成されたモデルは、開発キットである Live2D Cubism SDK for Web を用いて Web アプリケーション上に描画することができる。このキットを用いて EcoWiz のフロントエンドに Live2D モデルを組み込んだ。フロントエンドの開発には、React を用いた。

4.2 A2 の実装

本研究では、大規模言語モデルとして ChatGPT を選択した。ChatGPT は、他モデルと比較して自然言語処理に優れており、また API を用いてサービスに用意に組み込むことができるという利点がある。ChatGPT のモデルには、現在 2024 年 12 月において最新版である GPT-4o を用いた。

4.3 A3 の実装

人感センサとして SwitchBot 人感センサを用いた。このセンサは、人間の動きを赤外線で感知する IoT デバイスである。このデバイスを SwitchBot のアプリケーションに登録することで、API を通じて Webhook の送信先を指定することができる。

4.4 A4 の実装

Pub/Sub サービスとして、我が研究室で利用されている cs27PubSub を用いた。cs27PubSub は Google PubSub をベースに、より簡略化された Pub/Sub を実現するサービスである。

4.5 全体の実装

A1 から A4 の実装を元に、EcoWiz とその周りのシステムを実装した。また開発言語としては、EcoWiz のフロントエンドには JavaScript のライブラリである React を、バックエンドには Python のフレームワークである FASTAPI を用いた。また、これらのプログラムは Docker コンテナにより環境を構築し、Docker Compose により一括で起動することが可能である。実装を行い配備した EcoWiz の画面と人感センサを図 6 に示す。



図 6 EcoWiz の画面と人感センサ



図 7 通知の伝達を行う EcoWiz の画面



図 8 家電の操作を行う EcoWiz の画面

5. ケーススタディ

5.1 設 定

本研究では、以下の設定でケーススタディを行った。

- ・ ユーザが在宅している場合に通知を受け取る。
- ・ ユーザは、電力削減量の情報を取得するために、EcoWiz に対話を行う。
- ・ ユーザは、家電を操作するために、EcoWiz に対話を行う。
- ・ ユーザは、自身の家電とは関係のない内容を発話する。
- ・ 家電には、エアコン、冷蔵庫を設定した。

5.2 結 果

通知の伝達を行っている画面を図 7 に示す。また、家電の操作を行う画面を図 8 に、電力削減量の情報を取得する画面を図 9 に、自身の家電とは関係のない内容を発話する画面を図 10 に示す。

5.3 考 察

前節の結果からユーザはどのような文章を入力したとしても、LLM を通じて文章を理解し適切な文章を生成することができ、P1 の問題点を解決できた。また、EcoWiz の画面に Live2D モデルを実装することができた。しかし、本研究では Libve2D モ



図9 電力削減量の情報を取得する EcoWiz の画面



図10 ユーザが所持する家電とは関係ない対話を行う EcoWiz の画面

デルやアニメーションの作成は行っていないため、P2 のコストがかかるといった問題点を解決できたかは検証できていない。さらに、人感センサによる在宅判定と定期的な通知を行うことができたため、P3 の問題点を解決できた。

6. ま と め

本研究では、より個人に適応した省エネ行動を推進するサービスを構築することを目的として、新たなシステムである EcoWiz を提案した。提案手法は、大規模言語モデル (LLM) を用いた応答、Live2D の利用、人感センサによる在宅判定、Pub/Sub による定期通知の 4 つのアプローチから構成されている。この提案手法に基づき、EcoWiz とその周りのシステムを実装した。ケーススタディを通じて、通知の取得と家電の操作、消費電力量などの情報取得が想定通り行われ、正しく動作することを確認できた。

今後の展望として、ユーザの対話履歴から通知文を作成するルールを自動的に設定することが挙げられる。現在では、管理者が決めたルールに従って通知が行われているが、ユーザの対話履歴を分析し、ユーザに適応した通知文を自動的に生成することで、より個人に適応したサービスを提供することが可能となる。また、本研究では新たな Live2D モデルとアニメーションは作成していないため、提案手法が P2 の問題点を解決できたかは検証できていない。今後はそれらを作成し、提案手法が P2 の問題点を解決できるかを検証することが必要である。さらに、提案したサービスを実際にユーザの宅内に配備し、ユーザの省エネ行動に対するモチベーション向上にどのような影響を与えるかを調査することが必要である。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 JP20H05706, JP22H03699, JP22K19653, JP23H03401, JP23H03694, JP23K17006, および、立石科学技術振興財団の研究助成を受けて行われている。

文 献

- [1] “脱炭素ポータル/カーボンニュートラルとは 環境省,” https://ondankataisaku.env.go.jp/carbon_neutral/about/#to-why. accessed December 19, 2024.

- [2] 小島紀徳, “二酸化炭素問題対策とエネルギー利用,” ISIJ, 第 78 巻, pp.697–705, 1992.
- [3] 岡島敬一, “「エネルギー学」とカーボンニュートラル,” 第 31 回日本エネルギー学会大会, pp.14–15, Aug. 2022.
- [4] “Live2d 株式会社 Live2D,” <https://www.live2d.com/>. accessed December 19, 2024.
- [5] “Live2D Cubism Editor とは 株式会社 Live2D,” <https://www.live2d.com/>. accessed December 19, 2024.
- [6] “Live2D Cubism SDK とは 株式会社 Live2D,” <https://www.live2d.com/sdk/about/>. accessed December 19, 2024.
- [7] “ChatGPT OpenAI,” <https://openai.com/ja-JP/chatgpt/overview/>. accessed December 19, 2024.
- [8] “人感センサ SwitchBot,” <https://www.switchbot.jp/products/switchbot-motion-sensor/>. accessed December 19, 2024.
- [9] 本藤祐樹, “見える化がもたらす家庭における省エネの可能性 — 三つの見える化 —,” Journal of the Japan Institute of Energy, 第 91 巻, pp.563–569, 2012.
- [10] 平井駿, 岡本大, 陳思楠, 佐伯幸郎, 中村匡秀, “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,” 電子情報通信学会技術研究報告 LOIS2023, 第 123 巻, pp.19–26, March 2024.
- [11] 平井駿, 中田匠哉, 佐伯幸郎, 陳思楠, 中村匡秀, “個人の消費データに基づく VA 省エネ行動推進サービスの提案,” 電子情報通信学会技術研究報告 SC2024, 第 124 巻, pp.71–76, June 2024.