

# スマートハウスにおける節電アドバイスロボットの試作開発

野本 裕介<sup>†1</sup> 布施 宏樹<sup>†1</sup> 志田 匠<sup>†1</sup> 奥村 万規子<sup>†1</sup> 一色 正男<sup>†1</sup> 安部 恵一<sup>†1</sup>

**概要:** 近年、人のライフスタイルが電気エネルギーに頼る生活に大きく変貌していることから年々全体の消費電力量が増大している。従って、個人宅での節電として、HEMS 技術を使ったスマートハウスの普及が望まれている。既存のスマートハウス技術では電力使用量の見える化を行う際、スマートメータから取得した宅内全体の消費電力量をグラフ化するなどの表示方式が多くとられているため、利用者側はある程度グラフ等が読める人でないと扱うのが困難である。また節電に関する知識を有した人でないと具体的な節電行動をとることは難しいと考えられる。そこで、本稿ではスマートハウス内で使用することを想定し、ホームロボットが利用者側に具体的な節電に関するアドバイスをしたり、利用者の指示に基づいて宅内の家電をリモートで節電制御したりしてくれるプロトタイプロボットを開発した。

**キーワード:** スマートハウス, HEMS, 節電アドバイス, ロボット

## Development of Power Saving Advice Robot at Smart House

YUSUKE NOMOTO<sup>†1</sup> HIROKI FUSE<sup>†1</sup> TAKUMI SHIDA<sup>†1</sup>  
MAKIKO OKUMURA<sup>†1</sup> MASAO ISSIKI<sup>†1</sup> KEIICHI ABE<sup>†1</sup>

**Abstract:** In recent years, the lifestyle of people has been largely transformed into lives relying on electric energy, so the total electricity consumption has been increasing year by year. Therefore, as energy conservation in private homes, it is desired to spread smart houses using HEMS technology. In the existing smart house technology, there are many display methods such as graphing the power consumption of the whole house acquired from the smart meter when visualizing the power consumption, so it is difficult to deal with unless it is a person who can read graphs to a certain extent. Moreover, it is considered difficult to take concrete power saving behavior unless it is a person with knowledge on energy conservation. Therefore, in this paper, assuming to use in a smart house, we developed a prototype robot that the home robot gives advice on concrete power saving to the user side and remotely controls energy conservation of household appliances on the basis of user's instructions.

**Keywords:** SmartHouse, HEMS, Power saving advice, robot

### 1. はじめに

近年、人のライフスタイルが電気エネルギーに頼る生活に大きく変貌していることから年々全体の消費電力量が増大している。従って、個人宅での節電として、HEMS 技術を使ったスマートハウスの普及が望まれている。

既存のスマートハウス技術では電力使用量の見える化を行う際、スマートメータから取得した宅内全体の消費電力量をグラフ化するなどの表示方式が多くとられているため、利用者側はある程度グラフ等が読める人でないと扱うのが困難である。また節電に関する知識を有した人でないと具体的な節電行動をとることは難しいと考えられる。

本稿ではスマートハウス内で使用することを想定し、宅内に設置したロボットが利用者側に具体的な節電に関するアドバイスや利用者の指示に基づいて宅内の家電をリモートで節電制御等が可能なホームロボットを提案する。また今回提案するホームロボットのプロトタイプを提案し、一部を開発したので詳細を報告する。

### 2. 節電アドバイスに関する関連技術

HEMS 技術の見える化技術として、一日及び一か月単位の電気使用量をグラフに表示させて利用者に節電を促進させる技術が多い[1, 2, 3, 4]。また、過去の研究では節電博士なるアニメのキャラクターが利用者に対してワンポイントアドバイスを行う技術[5]がある。これは今月の電気使用量の予想値と目標値とを比較し、電気料金を表示させるものであるが具体的な節電方法を教えてくれるものでない。よって、これらの技術は利用者側にある程度の節電知識や専門的な知識を有していないと簡単に節電行動をとることは難しい。

ところで、最近宅内で利用者がスピーカに話しかけることで知りたい情報をすぐに返答してくれる AI スピーカ技術[6, 7, 8]が普及している。この AI スピーカと Philips が提供する HUE 対応家電機器と連携することでホームオートメーション化もしくは HEMS としても活用できる。我々は AI スピーカなどで通じて、利用者側に音声などで節電アドバイスさせる技術に着目してみた。

<sup>†1</sup> 神奈川工科大学  
Kanagawa institute of technology

近年 AI スピーカは各社それぞれで特有の機能を実装した製品が発売しているため、世間的に認知度が高まってきている。しかし、市販されている AI スピーカのほとんどが無機質なデザインであるため、話しかけづらいと感じる人は一定数存在すると感じる。某人気キャラクタをデザインとした AI スピーカも存在するが、表情が変化したり、言葉に反応して動いたりすることはないため、話しかけづらいと感じてしまう人はいるのでは無いかと考えた。

そこで、我々は AI スピーカでなく、人のように顔の表情や動作などの非言語情報も豊かに表現でき、かつ音声対話が可能なコミュニケーションロボットに着目することにした。

実際に著者らは 10 代から 60 代の男女 29 名を対象にしたアンケート調査を行った。「AI スピーカに話しかけるのに抵抗はありますか」という質問に対し、図 1 に示すように、「はい」と回答した方が 21%となった。この結果から全体の 2 割の方が AI スピーカには話しかけづらいと感じる人がいることが判った。

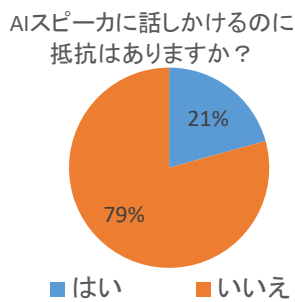


図 1 AI スピーカに関するアンケート結果

Figure 1 Questionnaire results on speech resistance

ところで、ロボットの非言語情報に関する研究として横山氏らの研究[9]がある。横山氏らは、人間型ロボットのコミュニケーション能力を人間のそれに近づけるために、人間同士のコミュニケーションにおいて重要な役割を持つ視線や手ぶりなど非言語情報の利用を検討したとし、人間同士の対話において、各種非言語情報の出現タイミングについての分析とロボット側の非言語情報の出力タイミングにより対話への影響を分析した。分析の結果、非言語情報の種類によって発話交替における制約としての強さや自然性の違いが明確になったとし、非言語情報の出力タイミングとして、人間同士と同様に発話開始直後あるいは終了時が自然かつ円滑な対話の実現にとって適切であることが確かめられたとしている。

そこで本稿では、「うなずき」や「まばたき」等の非言語情報を簡易的に表現できる対話型ロボットを作製し、節電アドバイス機能を搭載することで、利用者の節電意識を向上させるホームロボットのプロトタイプを開発した。このロボットを本稿では節電アドバイスロボットと

呼び、その詳細について述べる。

表 1 に本提案の節電アドバイスロボットと関連技術[6, 7, 8]である AI スピーカとの比較したものを示す。

AI スピーカは利用者側から例えば Google Home など「OK Google」などトリガーになる言葉を発しないと起動しない仕組みになっているが、本提案技術では人感センサなどを用いて人を検知し自動で話しかける機能を実装した。ECHONET-Lite 対応の家電及びスマートメータとネットワークで連携することで、リモートで宅内の消費電力情報の取得及び家電操作も行えるようにし、かつ節電アドバイスもできる技術を提案する。

表 1 本提案技術と関連技術との比較

Table 1 Comparison of proposed technology and related technology

項目	本研究で提案するロボット	Amazon Echo <sup>*1</sup>	Google Home <sup>*2</sup>	Clova WAVE <sup>*3</sup>
音声AI	・Google Speech API ・Docomo 雑談対話 API	・Alexa ・Cortana	Google Assistance	Clova
家電操作	○ ECHONET Lite	△ 別注: スマートリモコン等	△ 別注: スマートリモコン等	○ 赤外線リモコン搭載
家電の状態把握	○	×	×	×
節電アドバイス	○	×	×	×
話しかけ	○	×	×	×

### 3. 節電アドバイスロボット

第 2 章では我々が提案する節電アドバイスロボットの概要について説明する。

#### 3.1 利用者との会話のきっかけを増やす

利用者側がロボットに話しかけにくいと感じてしまわないように、下記のロボットデザインを考えた。

- 1) ロボット自体の外観が親しみやすい外観であること
- 2) 利用者側から話しかけるのではなく、ロボット側から話しかけることで会話の機会を増やす。
- 3) 会話のなかで「うなずき」、「まばたき」などの非言語情報を利用する。

上記の 2) を実現するため、人感センサを搭載し近くに人がいたらロボットから積極的に話しかけることで、人との会話の機会を増やす。

#### 3.2 ロボットの設置場所について

本稿が提案する節電アドバイスロボットの設置場所は利用者の宅内において在室時間が長いリビングなどの部屋に設置することを想定する。これは会話のきっかけを増やすことや節電アドバイスや警告を迅速に行うためである。

#### 3.3 対話型システムについて

我々はロボットを利用者と対話させるために、意図解釈、雑談対話や知識検索等ができるクラウドサービスと連携させることで人と同様にスムーズな会話が行えるのではないかと考えた。また、著者らは自然対話を実現できるクラウドサービス[10]を利用することで最新の会話内

容の更新やシステム改善などメンテナンスが容易に行え、本研究として省エネアドバイスに関する機能に重点を置いて研究開発できると考え、クラウドサービスを利用した対話型サービスを採用した。

節電アドバイスに関する会話内容については、ロボットのメインプログラムで家電や省エネに関するキーワードを検出し、またはホームネットワークに接続されているスマートメータ等の電力情報から節電アドバイス内容を予めセットされた節電アドバイス文を選択して節電アドバイスロボットから音声出力させるシステムとする。

図2にキーワードによる家電制御及び節電アドバイスの例を示す。例えば節電アドバイスロボットを介して室内のエアコンをONにする場合、「エアコン」だけの言葉では誤認識してしまう可能性があるため、「エアコン」と「付けて」の2語でエアコンをリモートでONにする仕組みとなっている。ただし、このとき宅内の使用中の全電流が契約電流を上回らないよう節電アドバイスロボットが宅内に設置のスマートメータと通信して管理を行う。もしもエアコンをつけても過電流でブレーカが落ちる可能性がなければ利用者の指示どおりONにし、ブレーカが落ちそうであると判断した場合は「今エアコンを付けるとブレーカが落ちますがどうしますか？」など問い合わせる動作とした。

また家電制御及び節電アドバイスの他日時や天気なども問い合わせる機能を追加した。この場合もキーワードの誤検出を防ぐため、図2に示すように2語の組合せでないと反応しないシステムとした。

キーワードは誤反応を防ぐために2語以上の組み合わせで認識している。

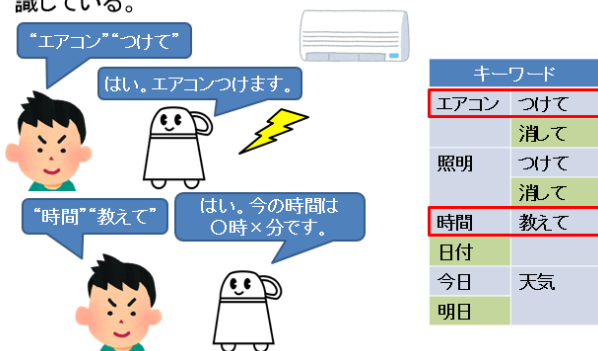


図2 キーワードによる家電制御及び節電アドバイス

Figure 2 Control of home appliances by keywords

### 3.4 宅内の消費電力情報の取得方法

著者らが提案する節電アドバイスロボットはECHONET-Lite 対応の家電及びスマートメータが同じネットワークに接続していることを想定した。宅内の電力情報は、ECHONET-Lite を利用して、B ルートでスマートメータ及び ECHONET-Lite 対応家電から消費電力情報を取得する。また、ECHONET-Lite 非対応の家電については ECHONRT Lite に対応したスマートタップ [11] や

ECHONETアダプタ [12] を用いて個々の ECHONET-Lite 非対応家電の消費電力情報を取得する。

### 3.5 節電のアドバイス及び制御

節電アドバイスロボットのアドバイス及び制御について提案する。大別すると下記の3つがある。

1つは、事前にロボットに設定した利用者宅の契約電流値と現在の消費電力値をスマートメータ (B ルート) から定期的監視し、宅内のブレーカ遮断が行われる前に段階的に注意及び警告を行う。それと同時に、家電の電源を落とす順番を決めておき、そのルールに従ってロボットが家電の電源を自動で OFF 制御する。

2つは、その日の屋外の気温・湿度情報、各家電の消費電力、宅内全体の消費電力など情報を取得する。過去の同月・同日の気温、湿度、消費電力情報等と比較し、現在の電力使用量は平年並みなのかを利用者にアドバイスする。昨年より電気を使い過ぎている場合は利用者へ忠告するものとする。

3つは外出の際、ロボットに外出の有無、例えば「行ってきます」と節電アドバイスロボットに伝えると、その時点から一定時間後に外出時に必要のない家電 (照明、エアコン等) をリモートで OFF 制御する。また、帰宅後、節電アドバイスロボットに「ただいま」というと、照明やエアコンなどを一斉に ON する。外出・帰宅時に電源を ON/OFF する家電の設定も任意で登録できるようにする。

## 4. プロトタイプの開発

第4章では第3章で著者らが提案した節電アドバイスロボットのプロトタイプ開発を行ったのでその詳細について述べる。

### 4.1 プロトタイプの外観

今回プロトタイプ開発するにあたって、人に親しみやすい外観のロボットを実現するため、東京都市大学の小池教授が考案したマグボット [13] を我々の提案仕様に改変した。図3に今回開発した節電アドバイスロボットのプロトタイプの外観を示す。

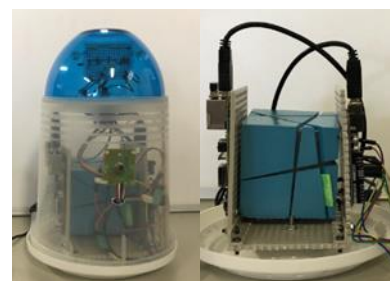


図3 節電アドバイスロボットの外観

Figure 3 Overview of Power Saving Advice Robot

### 4.2 プロトタイプシステム

本稿で我々が提案する節電アドバイスロボットのシステムを図4に示す。

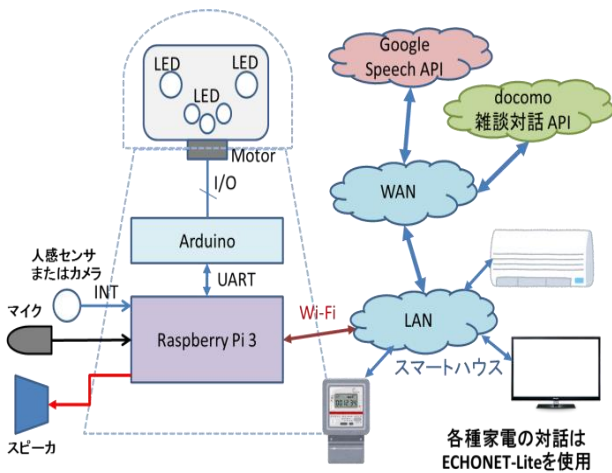


図4 節電アドバイスロボットのシステム  
Figure 4 System of Power Saving Advice Robot

図4に示すようにメインMCU(Micro Control Unit)にはRaspberryPi3B+ (以下RaspberryPiとする)を使用し、サブMCUにはArduinoマイコンを使用し分散処理を行っている。RaspberryPiではArduinoを介してのロボットへの大まかな動作指令、ネットワーク通信、サーバ構築(Web, DB等)、メインプログラムの処理(音声合成処理、各ネットワークサービスへの連絡等)を行っている。ArduinoマイコンではロボットのLED発光による表情制御やサーボモータによる首振り動作などの制御を行う。

人が発した言葉をマイクで取り込み、Google Speech APIの音声認識により音声情報をテキスト化したものをdocomo 雑談対話APIへ送り会話情報を取得し、ロボット内部の音声合成ソフトOpen-JTalkを使ってテキスト情報を音声情報に変換しスピーカから出力させることで、人とロボットの対話を実現させた。

今回プロトタイプ開発では人感センサ(型式SB612/NANYANG SENBA)を取付けた。ロボットの近くに人がいると人感センサが人を検知し、節電アドバイスロボットから積極的に話しかける動作とした。

RaspberryPiのメインプログラムはpython言語で、ArduinoマイコンのサブプログラムはC/C++言語で開発をした。また節電アドバイスの設定ホームページを表示させるため、RaspberryPiにWebサーバのApache2を、DB(Data Base)サーバにはSQLiteを構築した。

### 4.3 節電アドバイスロボットの表情

図5にロボットの顔を示す。ロボットの顔は左右に突き出た2個のLEDを目とし、中央下に位置した3個のLEDを口として作製している。それらが会話の中で必要に応じて、図6に示すように各LEDを点灯・点滅させることで各種表情を作り出す。

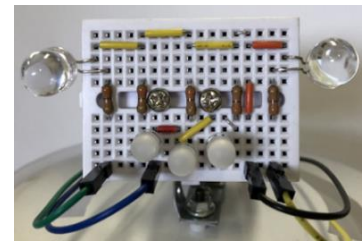


図5 対話ロボットの顔  
Figure 5 Face of interactive robot

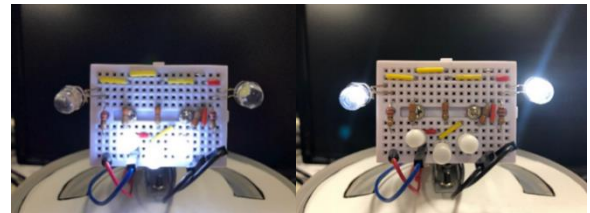


図6 対話ロボットの表情  
Figure 6 Facial expressions of interactive robot

### 4.4 対話型システムの実装

図7に対話型ロボットのシステム概要を示す。対話型ロボットの音声認識にはGoogle Speech APIを使用し、自然対話を行うのにdocomoの自然対話API[9]を使用した。この自然対話APIには意図解釈、FAQチャット、雑談対話、知識検索、キャラクタ変換など普通に人と対話するための機能を有しているため、節電に関するアドバイスを行うサービス機能だけロボット側に実装するだけで容易に人と自然対話が可能で節電アドバイスロボットが実現できると考えられる。

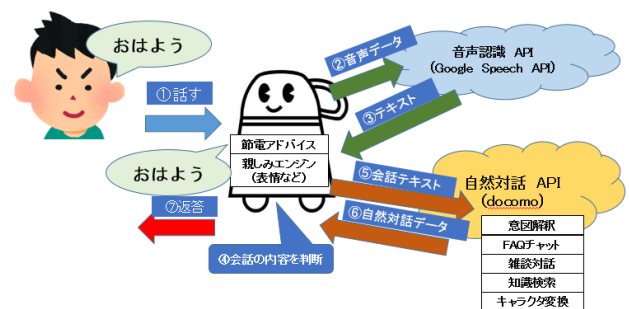


図7 節電アドバイスロボットの一般会話

Figure 7 General conversation of power saving advice robot  
下記に対話型ロボットと利用者との対話手順を示す。図7に示す手順に従う。

- ① 利用者の音声を取得し、音声データをGoogle speech APIに送る。
- ② Google speech APIで音声認識し、テキストデータに変換する。
- ③ テキストデータをロボットが解析、一般的な会話内容だったらdocomoの自然対話APIに送り、自然対話に変換したテキストデータをロボットが取得する。



- ④ ③で取得した自然対話テキストデータをロボットを介して音声及び動作(親しみエンジンで表情等)に変えて利用者へ返答する。

以上の手順により利用者とロボットが自然対話を行う。

#### 4.5 対話型ロボットの節電アドバイスの実装

本提案の節電アドバイスを行う対話型ロボットは基本的に宅内に設置し、ECHONET-Lite 規格のネットワークで接続された宅内の電力使用情報、各種家電のプロパティ情報(稼働情報など)、利用者の在宅情報等を取得することで、家電の消し忘れや過剰稼働を対話型ロボットが予測して利用者に具体的な節電手法を音声対話で伝えるシステムとした。利用者との会話内容が宅内の家電に関する情報ならロボットに搭載の「節電アドバイスエンジン」より図 8 に示す ECHONET-Lite ネットに接続されたスマートメータ及び各種家電の電力情報を取得して、ロボットが図 8 のような適切な節電アドバイスを行うと共に宅内の家電を ON/OFF 操作して節電を行う。

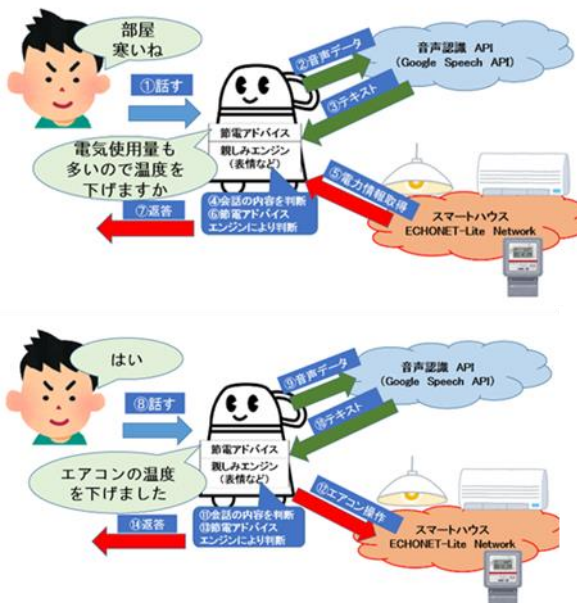


図 8 節電アドバイスロボットのアドバイス  
Figure 8 Advice of power saving advice robot

#### 4.6 メインのソフトウェア

図 9 にプロトタイプに実装したメインソフトウェアの処理フローチャートを示す。人感センサによって人を検知したら、ロボット側から会話を始める。人から音声入力されると、音声認識をし、家電操作に関するキーワードがない場合、docomo の自然対話に移り、作成された返答データを音声で出力する。家電操作に関するキーワードがあった場合は、各種家電の情報取得し節電の必要性を確認する。節電の必要があれば節電を促すアドバイスを音声出力し、場合によって家電操作(電源 OFF)を行い、必要でなければ家電操作を行わないプログラムとした。

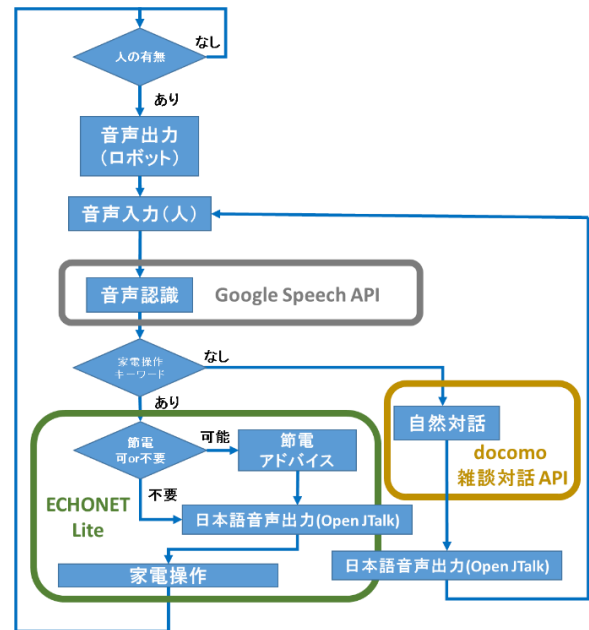


図 9 メインソフトウェア処理のフローチャート

Figure 9 Main software processing flowchart

#### 4.7 節電アドバイスロボットの情報登録等の設定方法

節電アドバイスロボットに各種設定を行わせるため、本体に Web サーバを立てており、Web ブラウザを搭載した情報端末から URL でアクセスすると設定ページが開きそこで各種設定を行う。このページでは宅内の契約電流値、家電の名称、種類そして節電を行うための優先度、帰宅時・外出時の家電の節電優先度等を登録できるようにする。

### 5. 評価実験

本研究が提案する節電アドバイスロボットのシステム評価を行うためアンケートを実施した。著者らが開発した節電アドバイスロボットのプロトタイプを一般の人々にデモで見てもらい、10代から60代の男女29名を対象に本提案ロボットと AI スピーカを比較したアンケート評価を行った。このアンケート評価では本稿で提案する節電アドバイスロボットを AI ロボットと略称して実施した。図 10 にアンケート回答者の年代と性別を示す。年代別としては 20代と 20代以下が全体の 6割を占める。

初めに、「AI ロボット」と「AI スピーカ」のどちらが話しかけやすいと思いませんか? という設問の結果を図 11 に示す。この結果、AI スピーカよりも我々が開発した AI ロボット即ち、節電アドバイスロボットの方が全体の 8割以上の方が話しかけやすいという回答が得られた。

続いて、「AI ロボット」が節電のアドバイスをする機能についてどう思いますか? という設問の結果を図 12 示す。その結果、全体の 9割の人が「良い」という回答が得られた。

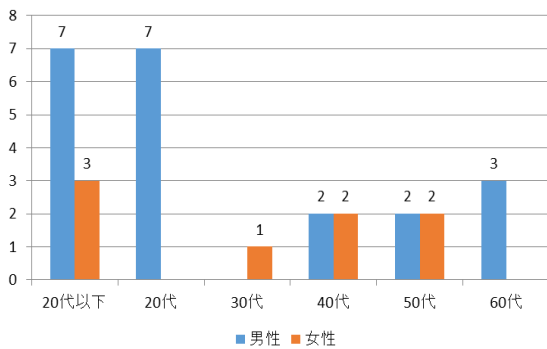


図 10 アンケート回答者の年代と性別

Figure 10 Age and gender of questionnaire respondents

今回提案した「AIロボット」と「AIスピーカー」のどちらが話しかけやすいと感じましたか？

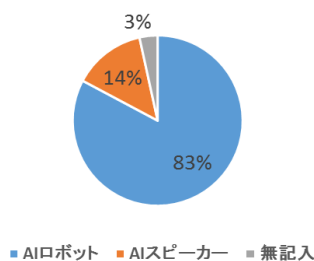


図 11 ロボットとスピーカの比較のアンケート結果  
Figure 11 Questionnaire on comparing robot and speaker

「AIロボット」が節電のアドバイスをする機能についてどう思いますか？

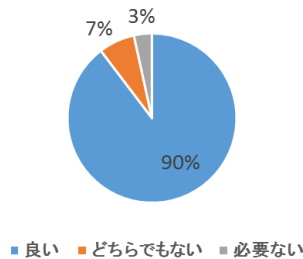


図 12 節電アドバイスについてのアンケート結果  
Figure 12 Questionnaire results on energy conservation advice

## 6. 結論

本研究では、高齢者や子供等の節電知識を有しない利用者にも容易に節電行動が可能となる「節電アドバイスロボット」を提案した。話しかけやすくするため、外観の可愛いマグボットを採用しロボットの表情及び動作を加え、かつ人感センサ検知による話しかけ機能を搭載することで AI スピーカと比べてさらに親しみやすくなり話しかけやすくなったと考えられる。さらに節電アドバイス機能を追加した技術を提案した。実際に提案した節電アドバイスロボットのプロトタイプを開発して評価実験(アンケート調査)の結果ではその有用性を確認できた。実験での節電行動は利用者がロボットからのアドバイ

スを受けて返事をするだけでロボットが自動的に節電する。このため利用者の負担が減り、楽に節電ができると考えられる。

しかし、今回開発したプロトタイプは利用者と自然対話を行う際、音声認識の精度に難があり所々対話が成立しない部分もある。また、ロボットとの会話速度が遅くストレスを感じてしまう点やロボットに話しかけるタイミングが分かりづらいことなどが課題が多く山積していることが判った。

## 7. 今後の展望

今後はロボットとの対話等のストレスをなくすために、ロボットの音声認識の応答速度の高速化、節電アドバイスの様々な言い回し等を検討していく必要がある。またロボットに表情のバリエーションを増やすためにディスプレイなどの表示機への変更も考慮していきたい。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 18K04270 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] 石川 和美, 諏訪 敬祐, "家庭用住宅システムにおける省電力化技術に関する研究", 武蔵工業大学環境情報学部情報メディアセンタージャーナル (6), pp.61-67, (2005).
- [2] 加藤丈和, 松山隆司, "スマートタップネットワークによる消費電力見える化システム", 情報処理学会研究報告, Vol.2011-CDS-2, No.6, pp.1-6, (2011).
- [3] 磐田朋子, 野村昇, 田中加奈子, 松橋隆治, "節電アドバイスおよび節電目標表示システムの開発と実装", 電子ジャーナル「エネルギー・資源学会論文誌」, Vol.38, No.1, (2016)
- [4] スマートハイム FAN, <<https://fan.smart-heim.com/pub/intro/>>, 入手日 2018 年 12 月.
- [5] ホームエネルギーマネジメントシステム(HEMS)のご紹介, <<http://www.eonet.ne.jp/~yamaneto/HEMS/index.html>>, 入手日 2018 年 12 月
- [6] Amazon.co.jp | Amazon Echo (エコー) | Alexa 搭載スマートスピーカー, <<https://www.googleadservices.com/>>, 入手日 2018 年 12 月.
- [7] Google Home -スマートスピーカー&ホーム アシスタント - Google ストア, <[https://store.google.com/jp/product/google\\_home](https://store.google.com/jp/product/google_home)>, 入手日 2018 年 12 月.
- [8] LINE Clova 公式サイト, <<https://clova.line.me/>>, 入手日 2018 年 12 月.
- [9] 横山真男, 青山一美, 菊池英明, 帆足啓一郎, 白井克彦, "人間型ロボットの対話インタフェースにおける発話交換時の非言語情報の制御", 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.2,(1999)
- [10] 鄭 立, "自然会話ロボットを作ろう! Raspberry Pi と Arduino で作る人工知能", 秀和システム, (2016).
- [11] APPPOWER WiFi スマートタップ<<https://echonet.jp/introduce/gz-000103/>>, 入手日 2018 年 12 月.
- [12] 守 信一, 吉田 茂雄, "ECHONET 機器アダプタ (特集/ネット家電:ホームネットワーク・端末)", Matsushita technical journal 47(1), pp.79-83, Feb.(2001).
- [13] 小池 星多, "おしゃべりロボット【マグボット】ーラズパイと Arduino で電子工作ー", リックテレコム, (2016).