

音声認識と画像認識を用いた案内ロボットの開発

菊池 一真¹, 大林 要介², 長嶋 春樹³, 門田 和雄⁴

¹宮城教育大学 初等教育教員養成課程 情報・ものづくりコース, ²宮城教育大学大学院 教育学研究科 (教職大学院), ³仙台市立中田中学校, ⁴宮城教育大学 教育学部 技術教育講座

著者らはこれまで図書館向けの案内ロボットを開発してきた。2018年4月から7月にはプロトタイプとして開発したロボットの演示を行い、参加者のアンケートからニーズを把握するとともに機能向上のための示唆を得た。特に、インタラクティブなやり取りに関する要望が多かったことから、音声認識や画像認識の技術を用いた人工知能システムの構築に着目した。本研究では、音声に対する応答の追加やジェスチャーのための画像認識機能の追加などの改良を加えるとともに、対象を図書館から他の施設へと広げ汎用的な案内を行うロボットの開発を行った。

キーワード: 人工知能、情報技術、ソーシャルロボット、音声認識、画像認識、案内ロボット

1. はじめに

近年では案内ロボットが公共交通機関や商業施設等で利用されるということも多く、今後も社会ではロボットの需要が増え、普及していくと考えられる。

著者らは本学生向けの本学附属図書館のアピールやサービスを音声で案内や図書の説明する対話型ソーシャルロボットの開発を行ってきた[1]。図書館にて展示を行い、アンケートからロボットの機能改良等の要望を得ることで、より利用者が図書館を利用しやすいように改良を行った。また開発したロボットの対象を図書館のみならず学内施設に広げ汎用的な案内を行うロボットの開発を行った。本稿はそのプロジェクトの成果の一部をまとめたものである。

2. 図書館の利用者の推移

2.1 読書量の推移

文部科学省は、平成30年4月5日に子どもの読書活動の推進の取組「子どもの読書の推進について」[2]を発表した。読書活動は、子どもが言葉を学び、感性を磨き、表現力を高め、創造力を豊かなものにし、人生をより深く生きる力を身に付けていく上で欠くこと

のできないものであり、平成12年12月の教育改革国民会議報告からも「読み、書き、話すなど言葉の教育」を重視すべきことが提言されている。また、2018年4月20日には「子ども読書活動の推進に関する法律」[3] (平成13年12月12日法律第154号) に基づき、おおむね5年(2018～2022年度)にわたる子どもの読書活動推進に関する基本方針と具体的方策を規定する第四次「子供の読書活動の推進に関する基本的な計画」[4]が閣議決定され、より一層、児童生徒の読書活動が促進されている。そのため各地で子どもの「読書離れ」が指摘されてきたが、様々な読書活動の推進に関する取組が行われてきたこともあり、小学生と中学生の不読率は改善傾向にある。

2.2 附属図書館の利用者の推移

小中学生に比べて大学生の不読率は年々と増加傾向にあることが分かっている。全国大学生生活協同組合連合会による第53回学生生活実態調査[5]の概要報告の不読率推移グラフを図1に示す。グラフを見ると、1日の読書時間が0分の割合が2017年には53.1パーセントを占めている。また、本学附属図書館では、毎年、附属図書館概要[6]を提示して

おり、その中の図書館利用推移グラフには平成 25 年から平成 29 年までの開館日数、入館者数、貸出冊数、貸出者数が公開されている。平成 27 年から平成 29 年にかけて入館者は一日平均で 138 人、平成 26 年から平成 29 年にかけて貸出冊数の合計では 3288 冊、貸出者数合計は 953 人減少している。図書館利用データを表 1 に示す。これらのデータから本学においても学生の不読率が増加傾向にあると推測できる。このような実態の背景にはスマートフォン等の端末機器が急速に普及したことや、高等学校での読書習慣が育まれないまま大学に進学する学生が多いこと、その他にも学生が図書館のサービス内容や利用方法をよく理解していないことが挙げられる。

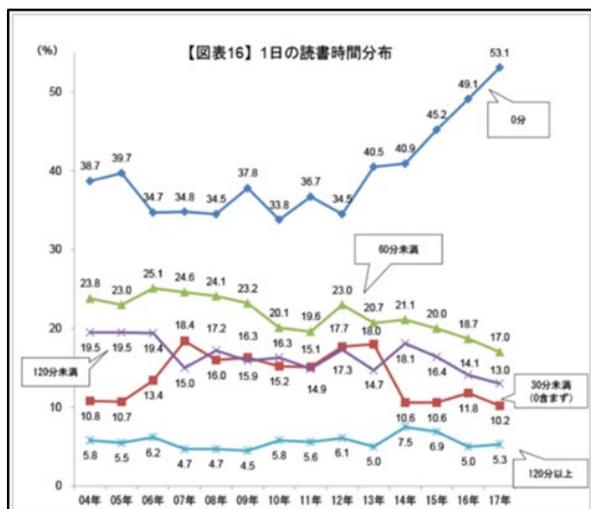


図1 大学生の1日の読書時間分布

表1 図書館利用推移グラフ

開館日数/入館者数

	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度
開館日数	308	311	308	312	308
入館者数	130,500	139,639	145,749	114,071	103,707
(内学外者)	149	223	270	4,885	4,460
1日平均	424	449	474	366	336

貸出冊数

	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度
学生	21,991	22,754	22,235	19,859	19,639
教職員	2,656	3,579	3,641	3,271	3,202
学外	1,250	1,294	832	777	1,498
合計	25,897	27,627	26,708	23,907	24,339

貸出者数

	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度
学生	9,845	10,498	10,299	9,602	9,593
教職員	1,076	1,308	1,344	1,241	1,133
学外	402	443	302	292	570
合計	11,323	12,249	11,945	11,135	11,296

3. 図書館ロボットの設計・開発

3.1 ソーシャルロボット

ロボットは人間の代わりに工場など製造現場で作業を行う「産業用ロボット」、災害対応、原発、水中・海洋、宇宙、軍事などリスクを伴う環境下で、人間に代わって作業を行う「フィールドロボット」、医療、介護福祉、生活支援、娯楽、移動など人間の生活をより豊かにする「サービスロボット」に分類される[7]。本稿では「サービスロボット」のうち、会話により人間の生活に関わる「コミュニケーションロボット」に焦点をあてた。また、「コミュニケーションロボット」の研究開発と並行して QOL(生活の質)や生産性の向上による人間のライフ・イノベーションを目指す「生活とサービス領域のロボット化事業」の展開に向けて日常生活や暮らしを支援する分野を中心に期待が高まっていることに着目した。本稿では、「コミュニケーションロボット」と「生活とサービス領域にあるロボット」の両者を総称して「ソーシャルロボット」と定義した[8]。

3.2 図書館案内ロボットの概要

近年では、通信技術の発展とインフラの普及とともに、多くの人工知能機能はクラウドサービスの形式で提供されている。本ロボットにも人工知能サービスを用いることで図書館案内を行う。音声認識技術(STT: Speech-to-Text)には Google SpeechAPI v2[9]のオンライン音声認識、自然会話にオンライン docomo 雑談会話 API[10]を使用した。利用者がマイクを通してロボットに話しかけると、その発話を音声入力機能が音声データとして音声信号を記録し、音声認識でこれをテキストに変換する。その後、自然会話が応答を行い、音声合成で返答するテキストを音声データとしてスピーカから出力する[11]。本ロボットは本学の公式キャラクターであるみやつき先生をモチーフとした。外装をレーザー加工機で加工した

MDF 材と 3D プリンタで出力した PLA 樹脂で作成している。MDF 材は中密度繊維板という板であり、木材チップを原料とした板である。PLA 樹脂は熱によって溶けるプラスチック素材である。

ロボットの制御にはシングルボードコンピュータ Raspberry Pi 3 Model B を使用し、マイクとスピーカを接続した。案内の音声は利用者が言葉を発するとプログラム内にあるキーワードを参照し、同一のキーワードが存在すれば、その応答用の言葉を発するシナリオ会話を行う仕組みである。例として技術教育に関する本とロボットに話しかけるとロボットはプログラムにある技術教育というキーワードに反応し、「技術教育に関する本は 2 階の 370.5 番台の本棚に配架されています。」と返答を行う。利用者の言葉がプログラム内に存在しない場合は雑談会話に切り替えられ、docomo 雑談会話 API のクラウド上で作成された返答を行う。

本ロボットを本学附属図書館に設置することを考え、演習実験を計画した。そのために 2 つの準備を行った。1 つは学内 Wi-Fi(miyakyo-up)と Raspberry Pi の無線接続である。以前までは PC を介して有線接続を行っていたが、持ち運びの不便さと設置する場所の問題から無線接続が望ましいと考え、学内 Wi-Fi と接続することにした。もう 1 つは音声以外のコミュニケーション機能の追加である。現状では、利用者に対して音声で本の配架場所等の案内を行うが、コミュニケーション機能の追加として腕にサーボモータを組み込み、動作させることで利用者により親しみを持ってもらえると考えた。そこで門田研究室で以前から利用していた「マグボット」のシステムを取り入れることにした。「マグボット」とは東京都市大学小池研究室で開発されたソーシャルロボットである[12]。このロボットはオープンソフトでソフトが公開されている、知的所有権に縛られない、自由に改造できるといった特徴がある。今回の演習では、マグボット機能にある端末

機器からの操作でロボットに音声発声をさせる機能とサーボモータ制御を図書館ロボットに追加した。そのためそれぞれのスピーカ、マグボット用のマイコンボードである Arduino、ロボットを操作するための端末機器(iPad)を用意した。マグボット機能の追加によって図書館案内ロボットの左右の腕は端末機器から制御できた。展示に向け体験者のロボットの扱い方の理解を助長するため、簡易的な説明マニュアルとアンケートを作成した。



図2 図書館案内ロボット

3.3 本学附属図書館での演習実験

本学図書館においてロボットの演習実験を行った(図3)。事前に図書館の方のご協力のもと、メールやポスターで実践の宣伝を行い 30 名程の学部生、院生、教職員の方に参加いただいた。説明会では図書館案内ロボットの機能の説明や雑談会話・図書案内の体験後にアンケートを実施した。21 名がロボットは発話に対して適切な返答をしたか・ロボットを図書館に設置したら利用したいと思うかの 2 項目 4 段階評価のアンケートに参加した。ロボットは発話に対して適切な返答をしたかに関しては「した」が 7 名「どちらかというとした」が 13 名「どちらかというとしなかった」が 1 名だった。ロボットを図書館に設置したら利用したいかに関しては「利用したい」が 9 名「どちらかというとうと利用したい」が 12 名だった。

ロボットの発問に対する適切な応答は「した」、「どちらか」としてが大半であったが学部3年生から1人「どちらかというとしなかった」という意見があり、音声認識の精度の向上が求められていることが分かる。図書館案内ロボットを図書館に設置したら利用したいかという項目では全員が「利用したい」「どちらかという」と利用したいのどちらかである。よって図書館案内ロボットの設置は図書館利用人数向上の貢献に繋がると考えられる。

また、自由記述欄からロボットのさらなる機能の要望を得られた。特に意見の多かったジェスチャー機能の追加と筐体の大型化について改良することとした。ジェスチャー機能を音声案内時に本棚の場所を腕で指し示すことや、利用者が近づいた時に首を動かし注意を引く等の視覚的に利用者との対話を行う機能を検討することとした。



図3 図書館案内ロボットの展示

4. ジェスチャー機能の追加

4.1 腕の動作制御

ジェスチャー機能として、Raspberry Pi でサーボモータを制御するプログラムを追加することとした。ユーザビリティを高めるため、入力した音声に反応して腕を動かす機能を検討した。しかし、より動作を安定させ、細かい動作を可能とするために制御サーボモータを増やす必要がある。このために電源の問題を解

決する必要が出た。以前より Raspberry Pi の電源問題はマグボットでも生じており、Raspberry Pi に直接サーボモータを接続する場合、電圧の問題で最大で2個の制御となる。

また、特有のサーボモータの振動も発生してしまう。そこで問題を解決するために PCA9685 搭載 16 チャンネル PWM/サーボドライバーを使用することにした。Raspberry Pi とサーボドライバーは I2C で接続しており、3.3V ピンを電源の供給源とし、それとは別にサーボモータ用の電源は外部電源としてサーボドライバーに接続する。これによって電源問題とサーボモータの振動は解消できた。サーボドライバーを用いてサーボモータを制御するために、Adafruit_PCA9685 のライブラリをインストールし、Raspberry Pi の I2C 接続の設定を有効化した。これにより9つのサーボモータの制御が可能となった。また、サーボドライバーのサーボ用外部電源はスマートフォン用のライトニングケーブルを切断し、電源とグラウンド線だけ取り出し使用した。しかし、ロボットの動作は順次処理であるため、音声を発し終わった後にサーボモータが動作する。そのため音声を発している間サーボモータを動かし続ける処理を行うことにした。命令の同時実行を行うために threading ライブラリを用いた。

4.2 新たな筐体の製作

アンケートの要望にあった筐体の大型化を行う。本学附属図書館キャラクターである MUE をモチーフとした筐体を作成した。

ロボット本体にはプラスチック容器を使用した。腕は 3DCAD で設計し 3D プリンタにて出力した。関節の肘と肩には 2 種類のサーボモータを使用した。肘にはトルクが $0.18[\text{N}\cdot\text{m}]$ のサーボモータ SG90 を、肩の負荷が大きくなると予想される部位にはトルクが $0.73[\text{N}\cdot\text{m}]$ のサーボモータ GWServo を使用した。

4.3 フェイストラッキング機能の追加

腕の操作以外のジェスチャー機能として利用者の顔をカメラで認識し、追跡動作させるフェイストラッキング機能を Raspberry Pi Camera を利用して作成した。Raspberry Pi の電源を切った状態で「CAMERA」と書かれたコネクタにカメラモジュールを接続した。カメラの向きを上下左右に動かすため、二つのサーボモータをカメラマウント(TAMIYA 製 SG90 サーボ用ミニ 2 軸)に組み込み、カメラを取り付け、サーボモータを動かすために Raspberry Pi のカメラモジュールを有効化した。Raspbian のメニュー画面から「設定」、「Raspberry Pi Configuration」を選択し、起動した設定アプリケーションで「Interfaces」タブを選択し、「CAMERA」項目を「Enable」に設定することでカメラを利用できるようにした。カメラに問題が無いか確認するために、カメラの映像をディスプレイ上に表示し確認した。画像認識を行うにあたって OpenCV を導入した。OpenCV (Open Source Computer Vision Library)は、コンピュータで画像や動画を処理するための様々な機能を提供するライブラリである。画像処理とは、カメラなどから取得した外界の映像に対して、映像から何らかの情報を抽出する処理等を指し、画像認識に必要な技術である。OpenCV のインストールを行い、OpenCV の動作確認として、カメラモジュールからの映像をディスプレイに表示する。解像度は `camera.resolution = (320, 240)`と設定した。処理時間を考慮して小さめの解像度を選択した。映像データの格納し、ウィンドウに表示する。プログラムを停止する時は、キーボードの”q”を入力する。画像の顔を認識するための二値化処理を行う。二値化とは、画像を白と黒の二色で表現することであり、グレースケール化という画像の明るさに応じてモノクロに変換する処理が必要である。その時の画像の明るさは最も暗い部分が 0、最も明るい部分は 255 の 256 段階の

数値で表現される。閾値を設けることでその閾値よりも明るい部分を白、暗い部分を黒で表現できる。今回は閾値を中心の値である 127 を選択した(図 4)。

人の顔の検出を行うために顔の特徴を抽出するカスケード分類器をファイルから読み込む。分類器は OpenCV をインストールした際にシステムにインストールされる。分類器にグレースケール化した画像と顔検出のための設定値を渡す。顔を検出した際に白い枠を表示することで視覚的に顔部分が分かるようにした。顔検出が可能になったため、画像処理で検出した顔を追跡するようにサーボモータを組み込んだカメラマウントにカメラモジュールを設置する。OpenCV では画像の左上を座標の原点として、顔を検出させる。カメラが顔を検出すると、中心からのずれを計算する。顔部分が中心から右にずれた際にはカメラを設置したカメラマウントを右方向に動かすことで顔をカメラの中心に捉えることができる。これによりフェイストラッキングが問題なく動作した。

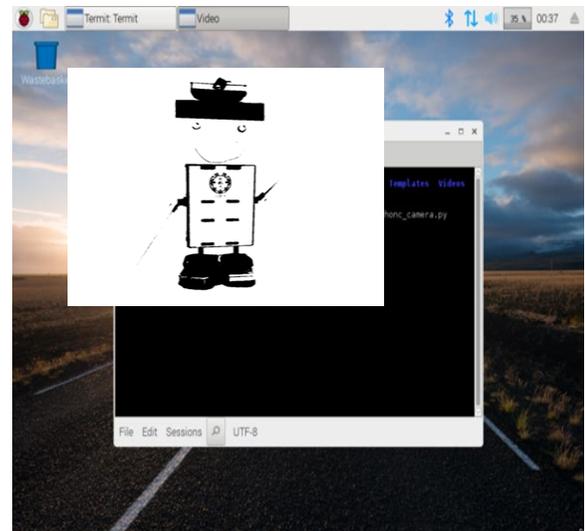


図4 二値化された映像の表示画面

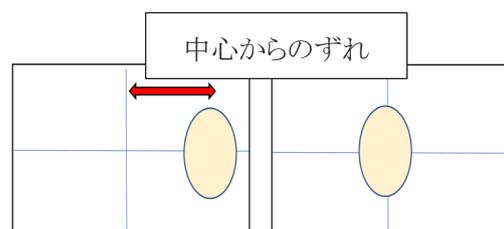


図5 カメラと顔の位置の例

4.4 筐体の組み立て

作成した腕とカメラモジュールをプラスチック容器に組み込む。顔追跡機能で使用するものと、図書館案内のプログラムを実行する Raspberry Pi を 3D プリンタで出力したパーツの裏表にそれぞれ設置する。

パーツは筒状のプラスチック容器に内蔵するため、直径 150mm の円状のパーツと、Raspberry Pi を設置するためのパーツを設計した。パーツの表にはフェイストラッキングを行うための Raspberry Pi、ブレッドボード、外部電源に必要な乾電池ボックス、サーボドライバーを設置した。パーツの裏には図書館案内を行うための Raspberry Pi を設置した。プラスチック容器には穴あけ加工し、サーボモータをはめ込んだ。プラスチック容器の上部に作成したパーツを組み込み、腕のサーボモータの配線を容器内で行う。

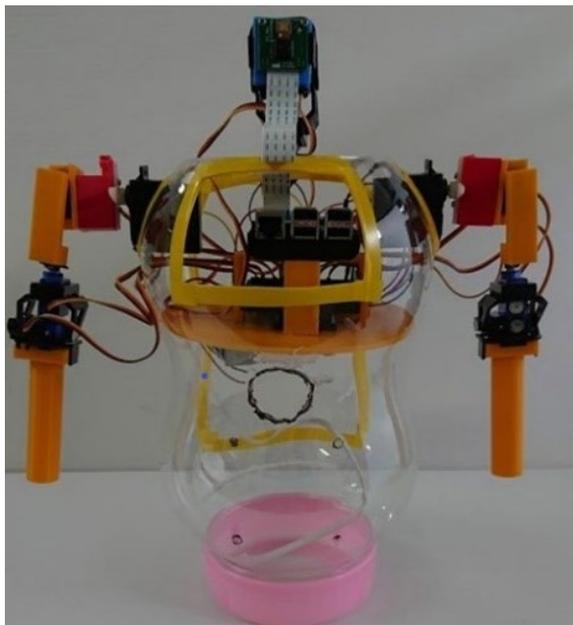


図6 作成した筐体

5 雑談会話機能の検討・導入

5.1 新たな雑談会話の検討

これまで使用してきた docomo 雑談会話 API が 2018 年 6 月末でサービス終了したため、代わりとなる雑談会話機能を使用した。また雑談会話機能を選択する際には、図書館での演示実験のアンケート結

果にあったロボットの返答速度の改善も考慮した。これまでは google 音声認識 API で認識したキーワードがプログラム内がない場合に docomo 雑談会話へアクセスし、返答となる言葉を受け取った。そのため、雑談会話で返答にかかる時間は図書館案内と比較して API にアクセスする分(約 4 秒程)長くなる。時間を短縮するため、図書館案内機能と雑談会話機能をそれぞれ独立したプログラムとして実行する。そこで Google Assistant[13]を利用することにした。Google Assistant とはインターネットを検索や、イベントやアラームの設定、ユーザの端末のハードウェア設定の調整等、ユーザの Google アカウントから情報を表示することができる双方向性のある AI アシスタントである。Google Assistant を本ロボットに組み込むことで、雑談会話機能として活用した。

Raspberry Pi から Google Assistant を呼び出す Google AIY Voice Kit を筐体に設置する。Google AIY Voice Kit とは Google が人工知能の学習を目的として開発した AI スピーカの開発キットである。

5.2 Google AIY Voice Kit の導入

Raspberry Pi の設定を行う。SD カードに Google AIY Raspbian の SD イメージをホームページからダウンロードし、SD カードヘデータをインストールする。その後は日本語フォントのインストール、Locale の設定、Timezone の設定、Keyboard の設定を行う。また、Google Assistant を使用するために Google Cloud Platform(<http://u0u0.net/GZ2P>)からプロジェクトを作成する。API のサービス欄から Google Assistant API のサービスを有効にする。Google Assistant API を利用するために必要な認証情報を入力し、クライアント ID を作成する。作成されたクライアント ID が表示されたら、認証情報のファイル client_secrets_XXX.json をダウンロードし、assistant.json にリネームして Raspberry Pi の

/home/pi/assistant.json に移動する。また、アクティビティ管理から「ウェブとアプリのアクティビティ」、「音声アクティビティ」、「端末情報」をオンにする。Google AIY Voice Kit は音声英語で出力されるため、スマートフォンの Google Assistant アプリから日本語の設定を行った。Google Assistant の設定画面のデバイスから Voice Kit のデバイス名を選択し、アシスタントの言語から日本語(日本)を選択する。

Google AIY Voice Kit を筐体の中に組み込むために、アクリルを円状に切り抜いたパーツをレーザーカッター(COMNET 社 LaserPro c180)を用いて作成し、Raspberry Pi を固定する。プラスチック容器の加工を行い、内部に Google AIY Voice Kit を設置する。腹部のボタンを押すことで雑談会話を行うことが可能な機能を組み込むことができた。本ロボットは本学附属図書館キャラクター「MUE」をモチーフとして作成しているため、筐体を覆う外装を作成した(図 7)。



図7 筐体に外装を取り付けた様子

6 画面による案内

6.1 ディスプレイによる館内地図の表示

演示実験を行った際には利用者から、ディスプレイで本棚の場所を表示できないかという要望が出たため、続いての改良点として、ディスプレイに館内地図を表示する。始めにプレゼンテーション用ソフト

(Microsoft 社 power point)を使用して、館内地図を作成した。地図は宮城教育大学附属図書館ホームページの施設案内図を参考にし、1F、2F をそれぞれ 2 分割した。HTML・CSS による地図を表示するための web ページを作成した(図 8)。本の配架場所に赤丸の印をつけることで視覚的に場所が把握できる。作成した地図を音声案内時にディスプレイ上に表示するため、Web サーバソフトウェア(HTTP サーバー)の Apache を使用し、別の PC から地図を表示するためのサーバを立てた。



図8 Web ページ

6.2 本学附属図書館での演示実験

作成したロボットを図書館で演示実験を行った。また、ロボットには、その季節ごとに異なる服を着させることで季節感のある外見にした。今回の演示は冬に行ったためマフラーや長袖の服を着せることとした。図書館の職員の方々に始め様々な方にロボットの機能を知ってもらい体験していただいた。

7.本学施設案内ロボットの開発

7.1 本学案内に関して

図書館での演示を受け、図書館以外での案内を行うことにより案内ロボットの汎用性を広げることができると考えた。そのためこれまでに開発してきたロボットをもとに本学施設案内を行うロボットを新たに開発することとした(図 9)。

これまでに開発したフェイストラッキング技術を応用

し、顔を検出した際に音声出力がされるように改良した。画像認識により人間の顔を検出した時に、音声出力の機能が働き、相手に音声による案内を行い、場所が分からない場合や、部屋がどのような用途で利用されているのか伝えられることにした。プログラムより、顔を検出した際には顔部分が枠で囲まれるようになっている。顔が囲まれることで音声出力のプログラムが動作し、音声が出力されるようにプログラムを作成した。



図9 本学内施設案内ロボット

7.2 本学情報処理センターにて実践

本学情報処理センター1階玄関において実践を行った。この時間は1年生が講義を受ける時間になっており、玄関を通る1年生の顔をロボットに取り付けたカメラが検出すると、「おはようございます。ここは情報処理センターです。授業は2階です」という音声を出力される。出入りの際に興味を持ってロボットを見てくれる学生が多数見受けられた。

7.3 音声認識の変更

これまでの音声認識には Google AIY Voice Kit を利用しており、複数台の Raspberry Pi を利用していた。しかし、Raspberry Pi 同士の相互に連携する必要があり、この連携を行うことが難しいという問題が生じた。そのため Raspberry Pi を一台でも音声認識が行えるようにシステムを変更することにした。

音声認識を行うために今回も Google speech API v2 という Google が提供している API を利用する。この API によって認識した音声を文字テキストに変換することができる。文字テキストに変換したうえで、これまで利用していたシナリオ会話の仕組みを採用した。キーワードをこれまでの図書館の本の説明から学内施設や改修工事により移動することになった技術科の先生方や学内施設にし、対応する音声テキストを場所の説明とした。本研究室を例に挙げると「門田研究室」とロボットに向けて呼びかけた際に、「門田研究室は1号館3階から管理棟1階に移動しました」という音声を設定した。

8. おわりに

本稿では、本学附属図書館での実践とアンケート結果より利用者が利用しやすい音声認識・画像認識を行う案内ロボットを開発・改良した。また、ロボットの案内機能を利用し、本学内施設の案内を行うことで汎用性を広げることができた。実演により今後の発展の方向性について示唆を得られた。

今回得られた調査結果を参考に案内ロボットとしての機能の向上に向け、改良・発展のために取り組んでいく。

9. 参考文献

- [1]大林要介, 平成29年度卒業論文:PBLを中心とした中学校技術科におけるロボット教材の開発, 宮城教育大学技術科研究報告 第二十巻, pp.18-19(2018)
- [2]文部科学省ホームページ:子どもの読書活動推進の取組～子どもの読書活動の推進について～(2018)
http://www.mext.go.jp/a_menu/sports/dokusyo/suisin/index.html (2019年12月14日最終閲覧)
- [3]子どもの読書活動推進ホームページ:子どもの読書活動の推進に関する法律(2001)

http://www.mext.go.jp/a_menu/sports/dokusyohourei/cont_001/001.html

(2019年12月14日最終閲覧)

- [4] 文部科学省ホームページ: 第四次「子供の読書活動の推進に関する基本的な計画」について(2018)

http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/30/04/1403863.html (2019年12月14日最終閲覧)

- [5] 全国大学生生活協同組合連合会: 第53回学生生活実態の概要報告(2018)

<https://www.univcoop.or.jp/press/life/report.html> (2019年12月14日最終閲覧)

- [6] 宮城教育大学附属図書館: 宮城教育大学附属図書館概要(2018), p2

<http://library.miyakyou.ac.jp/banner/about/gaiyo2018.pdf>(2019年12月14日最終閲覧)

- [7] 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, (2014)

- [8] 小林敦, ソーシャル・ロボットのアーキテクチャ試論 人間とロボットが共生する未来社会の実現に向けて(2014)

https://www.rikkyo.ac.jp/sindaigakuin/sd/research/journal201413/pdf/13_12.pdf

(2019年12月14日最終閲覧)

- [9] Google APIs, Google Speech API,

<https://console.developers.google.com/apis/dashboard?project> (2019年12月14日最終閲覧)

- [10] docomo Developer support,

<https://dev.smt.docomo.ne.jp>

(2019年12月14日最終閲覧)

- [11] 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)

- [12] 小池星多, おしゃべりロボット「マグボット」-ラズパイと Arduino で電子工作-, リックテレコム(2016)

- [13] Voice Kit, AIY Projects,

<https://aiyprojects.withgoogle.com/voice/>