

音声アシスタントの認証認可機能を高度化する 外部連携システムの開発

高橋朋也¹ 渡邊英伸^{1,2} 西村浩二^{1,2}

概要：音声認識技術や自然言語処理技術の向上により、スマートスピーカを利用して音声による家電の操作やショッピングが可能となっている。現在のスマートスピーカは、1名あるいは特定の数名がプライベートな空間で利用されることを前提としており、音声プロフィールや確認コードによる発話者の識別やスキル・アプリと呼ばれる機能を用いた音声操作を制御することが可能である。一方で、利用者が多数になる場合や利用者の申請を責任者が許可する承認プロセスなど、関係者の上下関係を考慮した操作を可能とするには不十分である。今後パブリックな空間への利用拡大が見込まれることも考慮し、音声アシスタントの認証認可機能を高度化する必要がある。

本研究では、スマートスピーカが置かれている環境やその他のシステムから得られる情報との連携を行う外部連携システムの開発を行っている。本稿では、買い物スキルを対象に利用者の認証や関係者の上下関係を考慮した承認プロセスを追加する手法を提案する。評価結果より、提案手法を追加することによる処理時間の増加が数秒程度で実現できることを示す。

キーワード：音声アシスタント、アクセス制御

Development of an External Cooperation System for Enhancing the Authentication and Authorization Functions of Voice Assistants

TOMOYA TAKAHASHI^{†1} HIDENOBU WATANABE^{†1,2}
KOUJI NISHIMURA^{†1,2}

1. はじめに

音声認識技術や自然言語処理技術の向上によって、音声による操作が可能なスマートデバイスであるスマートスピーカが登場した。スマートスピーカには音声認識や自然言語処理を担う音声アシスタントが搭載されており、スキルやアプリを用いることで音声による家電の操作や音声ショッピングが可能になる。

音声操作の利点としてハンズフリーであることや、声の届く範囲からであれば操作できること、ユーザがキーボード操作やマウス操作・タッチ操作などの独自の操作を覚える必要がないことが挙げられる。一方で子どもや来客者・テレビの音声によって意図しない音声操作が行われてしまう問題がある。2017年には6歳の子どものスマートスピーカと会話をする中で購入を完了してしまい、約2万円の商品が自宅に届いたという事例が起きた。さらに、この話題を取り上げたニュース番組で注文に用いたフレーズを読み上げた際に、テレビの前のスマートスピーカが反応する二次被害が発生した[1]。

このような意図しない音声操作を防ぐために、スマートスピーカでは、4桁の確認コードの発話によるアクセス制御が行われている。確認コードを知らされていない子供や

テレビによる音声操作を完了させないことで意図しない音声操作を防いでいる。また少人数であれば、音声を事前に登録しておくことで、登録されている人物間からどの人物の音声を識別する話者識別による制御も行われている[2]。

これらのアクセス制御は音声の対話のみでスムーズに制御が行われるという利点を維持しているが、少人数のプライベートな空間での利用が前提になっており、多数の話者に利用されることを想定すると音声の対話による認証では不十分である。例えば、大学に設置したデバイスに大学関係者のみが使える機能を持たせることを考えると、大学関係者全員の音声情報を登録・保持することやパブリックな空間で確認コードを発話することは適切でない。今後パブリックな空間への利用拡大を想定すると、音声対話以外による認証や人間関係を考慮したアクセス制御を可能にする等、音声アシスタントの認証認可機能を高度化する必要がある。

本研究では、音声によりデバイス自身が取得する情報の他に、スマートスピーカが置かれている環境やその他のシステムから得られる外部情報との連携を一元的に行う外部連携システムの開発を行っている。本稿では、外部連携システムを用いた買い物スキルを通して利用者の認証や関係者の上下関係を考慮した承認プロセスを実現する手法を提案する。

¹ 広島大学 大学院先進理工系科学研究科
Graduate School of Advanced Science and Engineering, Hiroshima University
² 広島大学 情報メディア教育研究センター
Information Media Center, Hiroshima University

2. 音声アシスタントと外部情報

2.1 音声アシスタントの機能

本研究では、音声アシスタントとして Alexa を使用した。Alexa の機能はスキルと呼ばれ、スキル開発者は、音声対話モデルとスキルのプログラムを記述するバックエンドの部分を開発する。一方、マイクで取得した音声テキストデータに変換し形態素解析を行う部分やテキストデータを音声に変える部分などは Alexa 自身が行うため、開発者が開発する必要はない。

2.2 発話者の識別によるアクセス制御

現在、Alexa は音声 ID および確認コードを用いて発話者の識別によるアクセス制御が可能である。

Alexa の音声 ID は声を認識したときに応答をパーソナライズすることができるものである。音声 ID を音声プロフィールとして登録することで、登録した人物は音声 ID の使用をオンにしたスキルで応答のパーソナライズをすることができる。また、音声ショッピングでは指定した音声プロフィールの人物にしかショッピングをすることができないように設定できる。音声を入出力として扱うスマートスピーカに合ったユーザ認識の形である。音声 ID は音声認証としてではなく、登録した人物に限った識別、すなわち認可に用いられている。そのためプライベートな空間等少人数での利用では有効だが、今後パブリックなスペースに置かれることを想定すると多数の話者の音声情報を保持することは実用的ではない。また、音声 ID はアカウントごとに設定されるため、異なるデバイスに登録した人物を同一人物として認識できない。

一方、セキュリティの重要度の高いものについては確認コードによって認証し、確からしさを保証することができる。確認コードによる認証は音声操作をする際にスムーズな認証ができる一方で、来訪者や子供のような確認コードを聞かれない人物が近くにいる場合には使えないという欠点もある。今後パブリックな空間での利用を考えると確認コードを発話することは適切ではない。

2.3 外部情報の例

本研究ではスマートスピーカが置かれている環境やその他のシステムから得られる外部情報を組み合わせることで柔軟な認証・認可を行うシステムの開発を行っている。本節では、検討している外部情報を述べる。

2.3.1 認証情報

認証情報は、音声操作をしている人物やその操作に対して承認を行う人物が誰であるかの判断に利用する情報である。パブリックな空間への利用拡大を考慮し、デバイスの近くに設置されている PC や IC カードリーダーから取得した

認証情報との連携を可能にする。利用者に ID を付与することで異なるデバイス間で同一人物の認識が可能になる。

2.3.2 関係性情報

本システムでは、スキルの管理者が事前に登録した人間関係の情報を制御に用いることができる。ユーザの周囲の人物との人間関係が登録してあるシステムは存在していないため、本研究では外部連携システムのスキル/ユーザ管理部としてシステムの機能の一つとした。本システム内では人間関係を属性とグループを用いて、認可のための承認プロセスを制御することができる。例えば親子関係を表すときは、ユーザを「家族」というグループに所属させ、「親」と「子」の属性をそれぞれに与える。制御条件で「子」の属性を持つものは同じグループ「家族」に所属している「親」の承認が必要であると設定することで親子関係における認可の流れを実現させる。

2.3.3 設置環境や利用状況を把握するその他の情報

本稿で提案する承認プロセスを実現するための認証情報や関係性情報以外にも制御条件に利用可能な情報を検討している。例えば、OpenPose[3]のような技術を用いると、カメラが撮影した画像からデバイス周辺の人物の姿勢情報や人数情報を取得できる。立っている/手を挙げているなどの情報で意思表示に用いることが可能なため、このようなシステムと連携することで姿勢情報や人数情報を制御条件に用いることができる。人数情報を取得する別の方法として無線アクセスポイント (AP) を管理するシステムとの連携も考えられる。AP 管理システムでは AP の接続情報や設置されている場所の情報を取得し、推定される密集度等を可視化する研究もおこなわれている[4]。カメラから取得できる人数情報と比べると精度の面でやや劣る可能性はあるが、AP はカメラよりも設置数が多いため連携しやすいというメリットがある。

3. 外部連携システム

3.1 提案手法

本システム全体を外部連携システムと呼ぶ。外部連携システムは条件判定部とスキル/ユーザ管理部、スキル/ユーザ管理 DB で構成されている。システムの全体構成を図 1 に示す。本システムに関わる人物は次のとおりである。

- ・ スキル開発者：スキルに API 呼び出しを追加する。
- ・ スキル管理者：スキル/ユーザ管理部にスキルの制御条件を登録し、使用するデバイスにスキルを設定する。
- ・ ユーザ管理者：スキル/ユーザ管理部にユーザのグループや属性を登録する。
- ・ ユーザ：スキルの利用者。承認プロセスでは、承認を求める者や承認する者がこれにあたる。

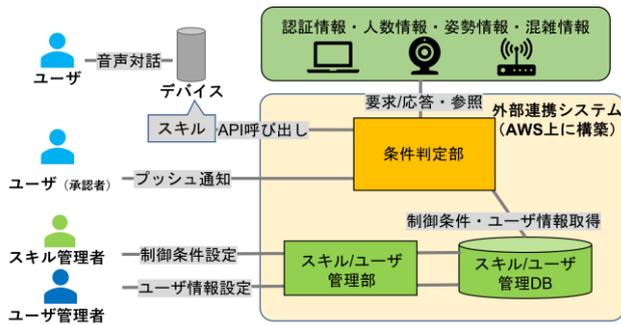


図 1 システム全体構成図

スキル開発者は、スキルの内部に直接アクセス制御の処理を記述するのではなく、アクセス制御を必要とする箇所に本システムの API 呼び出しを追加することで、外部連携により高度化した制御をスキルに組み込むことができる。制御条件はスキル管理者が外部情報を組合せることで作成し、スキル/ユーザー管理部を通してスキル/ユーザー管理 DB に保存する。スキルから呼び出される条件判定部はスキル/ユーザー管理 DB から制御条件を取得し、条件判定結果をスキルに返す。それぞれの処理の詳細は次節以降に述べる。開発環境は表 1 のとおりである。

表 1 開発環境

スキル開発	Alexa Skills Kit (ASK) SDK for Python
スキルテスト	Amazon 開発者コンソール 実機 echo show 8
条件判定部開発	AWS Lambda (Python3.8)
プッシュ機能 承認機能	Microsoft Power Automate
データベース作成	DynamoDB
API 作成	API Gateway

3.2 条件判定部

3.2.1 条件判定機能

条件判定部はスキルから API を通じて呼び出され、制御条件をスキル/ユーザー管理 DB から取得し、条件判定を行い、結果をスキルに返す。制御条件は論理式で表されており、真理値が確定した段階で判定を終了する。外部連携により取得するデータは、条件判定中に必要になった時点で取得する。データを取得する際に発話者への指示が必要な場合は指示の内容をスキルへ返す。スキルが音声で指示内容を伝え、発話者からの応答の後、再度条件判定部が呼び出され、条件判定を継続する。

3.2.2 データ取得機能

制御条件は関数を用いた論理式形式で表されている。関数が呼び出された時点でデータを取得する。人間関係を制

御条件内で使用する際に用いる関数および取得するデータを表 2 に示す。

表 2 条件判定に用いる関数

関数 (引数)	戻り値
Auth("人", "グループ", "属性")	真理値:"人"のグループ・属性が"グループ", "属性"に一致しているか 人が承認者だった場合、承認者へプッシュ通知を送る
Group("人")	文字列:"人"のグループ
Attrib("人")	文字列:"人"の属性
Skilldata()	スキルから送られてくるデータリストを参照し、値を返す 例 Skilldata(0)を呼ぶとスキル名を返す

3.2.3 承認要求機能

承認プロセスは発話者の認可条件が満たされない際に制御条件で承認者のグループ・属性を指定しておくことで承認者が承認または拒否をする仕組みである。承認者に承認要求として E メールやチャットを用いたプッシュ通知が送られる。プッシュ通知の内容は、{スキル名, 発話者名, 要求の内容} となっており、誰がどのスキルでどんな内容で承認要求を出してきたかを理解することができる。承認者は E メールやチャットで応答するか、同じスキルを起動して承認か拒否かを応答する。応答すると外部連携システムの API が呼び出され、制御条件の判定が再開される。

3.2.4 API の仕様

外部連携システムは条件判定と承認応答の際に API を通じて呼び出される。承認応答はスキルからの呼び出しと E メールやチャットからの呼び出しの 2 パターンがある。外部連携システムの API のリクエストに含めるパラメータを表 3 に示す。

表 3 API のリクエストに含めるパラメータ

パラメータ	スキルからの条件判定	スキルからの承認応答	E メールやチャットによる承認応答
リクエストタイプ	○必須	○必須	○必須
スキル ID	○必須	○必須	×不要
デバイス ID	○必須	○必須	×不要
データリスト	○必須	○必須	×不要
headers (前回のレスポンスの headers)	×初回 ○二回目以降	×初回 ○二回目以降	×不要
承認要求 ID	×不要	×不要	○必須
承認者のユーザー ID	×不要	×不要	○必須

リクエストタイプは条件判定と承認応答のどちらかを指定する。スキルから呼び出す場合は、スキル ID・デバイス ID をリクエストに含める。データリストはスキルから送る情報で、スキルの情報や音声で取得したデータを送る。また、一度の条件判定でスキルと外部連携システムを複数回行き来するので、2 回目以降のリクエストでは前回のレスポンス内容を含める。また、E メールやチャットによる承認応答の際に API を呼び出す場合は承認要求 ID と承認者のユーザ ID を含める。スキルからの承認応答の際は音声指示で承認者に認証を行ってもらい、ユーザ ID を取得する。レスポンスの headers に含まれるデータを表 4 に示す。レスポンスの headers の状態を見ることで条件判定状況が分かる。状態が判定終了になるまで音声指示と外部連携呼び出しを繰り返す。状態が判定終了の場合、判定結果に真実値が格納されている。

表 4 API のレスポンスの headers に含まれるデータ

パラメータ	条件判定	スキルからの承認応答	メールによる承認応答
状態	○	○	○
指示内容	○	○	×空白
条件式	○	○	×空白
判定結果	○	○	×空白
取得したデータ	○	○	×空白

3.3 スキル/ユーザ管理部・管理 DB

スキル/ユーザ管理部はスキル/ユーザ管理部 DB に情報を登録するインタフェースである。スキル管理者がスキル情報を、ユーザ管理者がユーザ情報を登録する。また、承認プロセスのプッシュ通知が送られる際に承認待ち情報が登録される。

3.3.1 スキル情報

スキル情報として {スキル ID, デバイス ID, 制御条件} の 3 項組で管理する。スキル ID とデバイス ID の組をキーとして制御条件を取得できる。

3.3.2 ユーザ情報

ユーザ情報として {ユーザ ID, 氏名, E メールアドレス, グループリスト, 属性リスト} の 5 項組で管理する。グループリストと属性リストは関係性情報として条件判定に用いる。承認プロセスの際に承認者のグループと属性にフィルタをかけて検索し、該当したユーザの E メールアドレスにプッシュ通知が送られる。

3.3.3 承認待ち情報

承認待ち情報として {承認要求 ID, 承認者のユーザ ID,

承認要求内容, 承認状況, 制御条件の判定状況, その他関係データ} の 6 項組で管理する。承認応答の際に承認要求 ID と承認者のユーザ ID のどちらかをキーとして承認待ち情報を取得する。

4. 実装例

4.1 承認プロセス付き買い物スキル

音声ショッピングが可能なスキルに本システムを使ったアクセス制御を実装する例を示す。現在の買い物スキルは図 2(a)に示すように確認コードを用いたアクセス制御が行われている。スキル開発者は購入処理の前に本システムの API 呼び出しを追加し、外部情報 (認証情報・関係性情報) を連携したアクセス制御を行う (図 2(b))。認証情報の取得は、デバイスの近くに ID・パスワードが入力できる PC や IC カードリーダーが置かれていることを想定している。買い物スキルには商品選択インテント・購入インテントがあるものと想定し、承認プロセスを実現するために承認応答インテントを追加した (図 2(c))。

買い物スキルが高度化される点として、確認コードが使えない状況でも認証ができること、購入金額による制御ができること、ユーザの属性を制御条件に含めることで普段制限されている人でも承認権限を持つ人物の承認によって買い物ができるようになることが挙げられる。

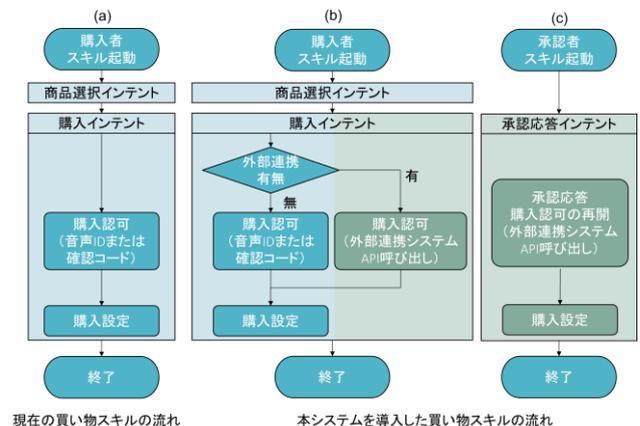


図 2 既存の買い物スキルと本システムを導入した買い物スキルの違い

4.2 承認プロセス

購入までの流れを図 3 に示す。購入者はスキルと対話を行い、「○○を購入したい」と発言することで購入インテントに進む。スキル管理者が外部連携システムで制御条件を設定していた場合、通常の音声 ID や確認コードを用いたアクセス制御ではなく、設定した条件によりアクセス制御が行われる。制御条件を判定して発話者 (購入者) が購入条件を満たす場合、そのまま購入設定が行われる。発話者 (購入者) に購入条件を満たさず、制御条件で承認が設定

されていた場合、外部連携システムは承認者に承認要求のプッシュ通知を行う。通知に回答するか承認者は買い物スキルと対話し「承認応答がしたい」と発言することで承認応答インテントに進む。承認応答インテントでは外部連携システムが呼び出され、発話者（承認者）の認証が求められる。発話者（承認者）の認証が終わると、スキルは発話者（承認者）の ID に紐づけられている承認要求内容を応答し、発話者（承認者）はそれに対し、「承認する/拒否する」と発言することで音声の対話のみで承認応答が実現する。この時外部連携システムはスキルに購入リストと判定結果をレスポンスし、スキルは購入処理を行う。

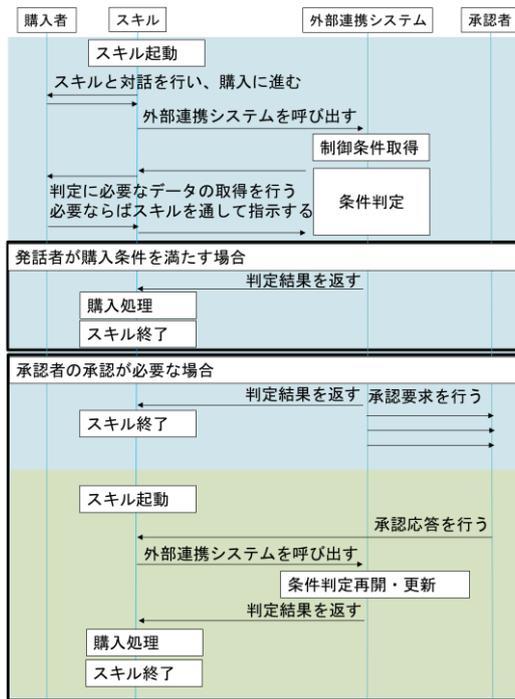


図 3 承認プロセスの購入までの流れ

4.3 条件判定の流れと実際の対話

条件判定の流れについて以下に示すシナリオで動作確認を行った。

スキル管理者はデバイスに買い物スキルを追加し、スキル/ユーザ管理部で下記の制御条件を登録する。

制御条件：教員（西村）は無制限に購入可能。

グループが” 研究室 A” かつ属性が” 学生”（高橋）は、10,000 円以内なら独自の判断で購入可能だが、10,000 円を超える場合はグループが” 研究室 A” かつ属性が” 教員”（西村）の承認があった場合に購入可能

この制御条件は論理式で次のように表現できる。

制御条件：Auth(発話者, 研究室 A, 教員) or
 Auth(発話者, 研究室 A, 学生) and
 {Skilldata(3) < 10,000 or
 Auth(承認者, 研究室 A, 教員) }

スキルから送られるスキル固有のデータ (Skilldata()) で取得できるデータは、(0):スキル名, (1): スキルの内容, (2): 購入リスト, (3): 購入金額である。

ユーザの属性/グループとスキルから送られてくるスキル固有のデータ (Skilldata(3)) から呼び出される購入金額によってアクセス制御を行っている。属性が学生の者の購入条件が満たされなかった場合 (購入金額が 10,000 円を超えていた場合) に属性が教員の者に承認要求が送られる。

また、ユーザ管理者はスキル/ユーザ管理部でユーザの情報を登録する。ここで、西村・高橋のユーザが登録されており、西村の属性は {教員} であり、高橋の属性は {学生} である。二人のグループはともに {研究室 A} である。

この時、学生の高橋が 15,000 円の買い物を要求し、承認者の西村がスキルで承認応答を行う場合の動作確認を行った。承認要求までの外部連携システムの流れを図 4 に、承認要求までの対話を図 5 に示す。

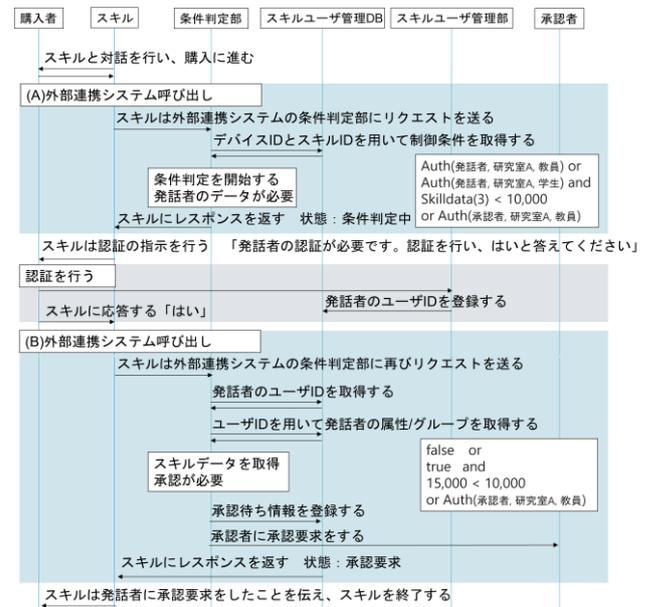


図 4 承認要求までの外部連携システムの流れ

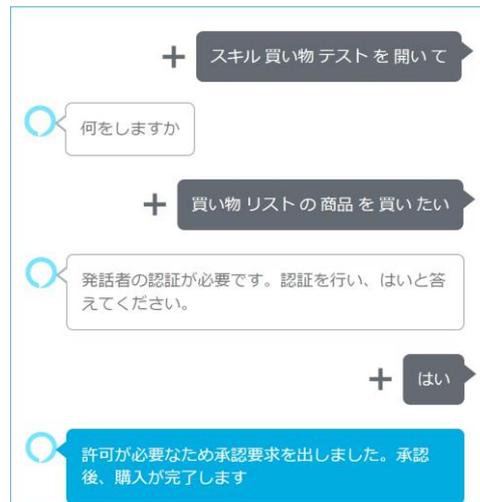


図 5 承認要求までの実際の対話

発話者（購入者）が「買い物リストの商品を買いたい」と発言すると購入_intentに進み外部連携システムの1回目の呼び出しが行われる（図4(A)）。ここではスキル/ユーザー管理DBから制御条件を取得し、条件判定を開始する。発話者の情報が必要になるので指示を設定しスキルに一度レスポンスを返す。この時の状態は「条件判定中」で設定される指示は「発話者の情報が必要です。認証を行い、はいと教えてください」となっている。発話者（購入者）がその指示に従い認証を行い「はい」と答えると外部連携システムの2度目の呼び出しが行われる（図4(B)）。ここでは発話者のユーザー情報からグループ・属性情報を取得する。この時発話者の属性では購入条件が満たされないので承認が必要になり、承認要求が行われる。実際の承認要求のプッシュ通知を図6・図7に示す。



図6 Microsoft teams への承認要求のプッシュ通知



図7 Eメールへの承認要求のプッシュ通知

プッシュ通知を受け取った承認者がスキルを用いて承認応答したときの外部連携システムの流れを図8に、その時の対話を図9に示す。発話者（承認者）が「承認応答がしたい」と発言すると承認_intentに進み外部連携システムの1回目の呼び出しが行われる（図8(C)）。外部連携システムは承認待ちの承認要求IDを取得するために

承認者のユーザーIDが必要なので認証の指示を設定し、スキルに返す。このときの指示内容は「発話者の情報が必要です。認証を行い、はいと教えてください」となっている。スキルは指示内容を伝え、発話者（承認者）がその指示に従い認証を行い「はい」と答えると2度目の外部連携システムの呼び出しが行われる（図8(D)）。外部連携システムは承認者のユーザーIDをもとに承認待ちの内容を指示内容に設定し、一度スキルに返す。このときの指示内容は「高橋朋也さんの服と靴の15,000円の買い物が承認待ちです。承認する場合は、はいと教えてください」となっている。スキルは指示内容を伝え、発話者（承認者）がその指示に従い認証を行い「はい」と答えると外部連携システムの3度目の外部連携システムの呼び出しが行われる（図2(E)）。ここでは条件判定の再開と承認情報の更新が行われ、スキルに結果を返す。スキルは購入処理に進み、購入設定を完了したことを発話者に伝え終了する。



図8 承認応答時の外部連携システムの流れ



図9 承認応答の実際の対話

4.4 応答時間の評価

4.3 のシナリオ内の 5 回の外部連携システムの呼び出し (図 4 および図 8 の(A)~(E)) にかかる応答時間のオーバーヘッドについて計測した。計測した部分は各インテントにおいて外部連携システム呼び出しの API 呼び出しが行われてから、外部連携システムによる処理が終わり、スキルがレスポンスを受け取るまでである。各 5 回計測し平均の結果を表 5 に示す。(A), (D), (E)の応答時間のオーバーヘッドはそれぞれ 248, 257, 260[ms]でありこれはスキル/ユーザ管理 DB へのアクセスが 1 回行われており、その時間が大部分を占めている。(B)の応答時間のオーバーヘッドは、プッシュ通知の処理時間の 1,107 [ms]とスキル/ユーザ管理 DB への 2 回の読み出し・1 回の書き込み時間である。(C)の応答時間のオーバーヘッドは、スキル/ユーザ管理 DB へのアクセスが行われず、指示内容の設定のみだったため 1[ms]となった。

表 5 外部連携システムによる応答時間のオーバーヘッド

外部連携システム 呼び出し	呼び出される インテント	応答時間の オーバーヘッド	処理の内訳
(A)	購入	248 [ms]	DB 読出×1
(B)	購入	2,078 [ms]	
		1,107 [ms]	プッシュ通知
		663 [ms]	DB 読出×2
		308 [ms]	DB 書込×1
(C)	承認応答	1 [ms]	指示設定
(D)	承認応答	257 [ms]	DB 読出×1
(E)	承認応答	260 [ms]	DB 書込×1

5. おわりに

本研究では、スマートスピーカが置かれている環境やその他のシステムから得られる情報との連携を行う外部連携システムの開発を行っている。本稿では、買い物スキルを対象に承認プロセスを実現する手法を提案した。スキル開発者は API 呼び出しを記述するだけで高度化されたアクセス制御の実装ができる。また、スキル管理者はデバイスの設置される環境に合わせた条件設定をすることで柔軟なアクセス制御が可能となる。承認プロセスは承認者へプッシュ通知を送るフローにすることで時間的・距離的な制約を無くした。本システムの処理による応答時間のオーバーヘッド時間は承認要求の時に約 2 秒かかっているが、それ以外の時は約 0.3 秒となっている。他の外部情報と連携する場合、連携先のシステムの応答時間がさらに追加されることが考えられる。対話ロボットの反応時間の研究[5]によると対話時の応答は 1 秒から 2 秒の間で返すことが理想であるとされている。複数の被験者に応答時間の長さや音声指示を繰り返すことに対するストレスを含めてアンケートを実施し、

応答時間を短くする工夫を行うなどストレスの少ない対話を行えるように検討・改善を行う。認証の方法として実装段階では ID・パスワードを用いているが、音声操作のメリットであるキーボード操作やマウス操作などの独自の操作を覚える必要がないことが損なわれてしまう。カードリーダーによるカードタッチ認証などを行うことにより従来の利点を損なわずに認証が行えると考えられる。また、本稿では認証情報・関係性情報を外部情報として扱ったが、音声操作とアクセス制御の条件に相性の良い他の外部情報の検討を行っていく。

参考文献

- [1]Amazon’s Alexa started ordering people dollhouses after hearing its name on TV - The Verge
<https://www.theverge.com/2017/1/7/14200210/amazon-alexa-tech-news-anchor-order-dollhouse>
 (参照 2022-06-17)
- [2]Alexa 音声ショッピング: いつものお買い物を Alexa で。
https://www.amazon.co.jp/gp/browse/ref=metalexa_shop/ref=s9_a_css_bw_cg_metalexa_md1_w?ie=UTF8&node=6760221051&pf_rd_m=A3P5ROKLSA1OLE&pf_rd_s=merchandised-search-15&pf_rd_r=HGFMVRVS7DKS66HJNKBT&pf_rd_t=101&pf_rd_p=339a2cc2-95d6-4155-8d69-ad367e64ff23&pf_rd_i=5262653051
 (参照 2022-06-17)
- [3]Zhe Cao, Gines Hidalgo, Tomas Simon, Shin-En Wei, Yaser Sheikh, “OpenPose : Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields”, arXiv:1812.08008v2, (2019)
- [4]富重 秀樹, 井上 純一, 畑瀬 卓司, 和田 数字郎, 林 豊洋, 福田 豊, 無線 LAN 接続情報を利用した密集度表示システムとその改良, 学術情報処理研究, 25 巻, 1 号, p. 1-8, 2021
- [5]志和 敏之, 神田 崇行, 今井 倫太, 石黒 浩, 萩田 紀博, 安西 祐一郎, 対話ロボットの反応時間と反応遅延時における間投詞の効果, 日本ロボット学会誌, Vol. 27, No. 1, pp87-95, 2009.