

家庭内ユビキタス環境における 対話ロボットの実稼動実験と対話戦略の評価

小林 亮博[†] 上田 博唯[†], 佐竹 純二[†]
近間 正樹[†] 木戸出 正継^{††}

家庭内ユビキタス環境におけるロボットインタフェースの対話システムを、生活実証実験を通じて評価した。ロボットの対話戦略としては、ユーザ間対話への割込みや音声の誤認識や雑音による偶発的なキーワードの一致により、ロボットから対話を開始することで、ユーザの潜在的なニーズを引き出したりユーザのシステムに対する理解を促進させたりする、連想しりとり型対話戦略を開発した。この連想しりとり型対話戦略と 66 種のホームサービスを、インタフェースロボットに実装し、被験者に日常生活で実際に利用してもらった。2 家族にそれぞれ 2 週間寝食を含む生活をしてもらい、その対話ログを解析し数量的な評価を行った。これらの評価とアンケートの分析から、提案した対話戦略の有効性を明らかにした。

Real-life Experiments of the Dialogue Robot in the Home Ubiquitous Environment and an Evaluation of the Dialogue Strategy

AKIHIRO KOBAYASHI,[†] HIROTADA UEDA,[†] JUNJI SATAKE,[†]
MASAKI CHIKAMA[†] and MASATSUGU KIDODE^{††}

This paper presents results of real-life experiments to evaluate a dialog system for an interactive robot interface in a home ubiquitous computing environment. The system adopts a word-association type of dialog strategy in which the robot initiates a conversation about home services in the event of a keyword match during a conversation between users or even when an accidental match occurs due to erroneous speech recognition or noise. This strategy extracts potential user needs and facilitates user comprehension of the system. We installed this dialog system and information on 66 kinds of home-appliance services in the robot interface and asked two families to use the robot in everyday life for a period of two weeks. A quantitative analysis of the resulting conversation logs from these two families and the results of a questionnaire revealed that the proposed dialog strategy can be an effective technique for a home robot interface.

1. はじめに

近年、居住空間に埋め込まれたセンサからの情報によって人間の状態や行動を解析し、その状態や行動に応じたサービスを提供するというシステムの研究が注目されている^{1)~3)}。ゆかりプロジェクト⁴⁾においても、「ユビキタスホーム」と名づけた実際に生活が可能で実験環境を構築し、ネットワークで結合された家

電製品や各種センサが協調動作することによって、どのような新しいサービスを実現できるようになるかといった観点から研究を進めてきた^{5)~7)}。

しかしながらセンサとネットワークのみで構成される自律型のシステムでは、これらのサービスが多様化していくに従って、ユーザはシステム全体を把握することが困難になると考えられる。そこで筆者らは、ユーザが対話型インタフェースロボットを通じてユビキタス環境中のホームサービスを利用できるようにするフレームワークを提案し、試作を進めてきた^{8),9)}。そして、ユビキタス環境中对話型インタフェースロボットを配置し、このロボットから対話を開始することで、ユーザの潜在的なニーズを引き出したりユーザのシステムに対する理解を促進させたりする対話戦略

[†] 独立行政法人情報通信研究機構
National Institute of Information and Communication
Technology

^{††} 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology (NAIST)
現在、京都大学
Presently with Kyoto University

を提案してきた¹⁰⁾。

家庭内で家電操作などのサービスを提供する対話ロボットとしては、PaPeRo¹¹⁾ が本研究と類似したゴールを目指しており、人間から「何ができるの?」という質問があった場合、または未知語を検出した場合に、自分が実行できる機能を音声で提示するメカニズムを持つ。しかし、ユーザの状況と自分の実行可能な機能の組合せに応じてその提示内容を変更するようなメカニズムまでは持っていない。

部分キーワードマッチングを用いて対話を繰り返す質疑応答システムとしてはダイアログナビ¹²⁾ が知られている。ダイアログナビは、よくある質問とそれに対する解答を知識ベースとして持ち、対話により解答を絞り込む、という機能を実現している。しかし、ダイアログナビは、ユーザ発話に対して知識ベース内の情報を絞り込むのみである。それに対し本研究では、参照する知識ベース内を自由に移動しつつ対話を行うことでユーザとより柔軟な対話を実行する。これにより、ユーザが思ってもみなかった潜在的なニーズを引き出すことも可能となる。

先の論文¹⁰⁾ では、対話システムのプロトタイプを用いて、擬似対話実験を行った結果について報告した。本論文では、対話システムをより高度化するとともに、実行できるサービスを増加させて、ユビキタスホームにおける長期の生活実証実験を実施し、実際に行われた対話を解析し、システムの有効性を示す。

2. 連想しりとり型対話戦略の基本原則

本研究では、ロボットから対話を開始し、ユーザの潜在的なニーズを引き出したり、システムへの理解を促進させたりする対話メカニズムの実現を目指す。これを設計するうえで幼児と大人との間で行われる対話を模倣することとした。

日常的に観察される幼児の行動として、大人の会話の中から自分の知識に合致する言葉を捕えて、その会話に割り込もうとするものがある。このとき、幼児は精一杯の連想と推論を働かせつつ、自分の知識の中から話題を提供して、大人を自分の話題に引き込もうとする。そして幼児は、大人の反応が自分の提供した話題を受けた内容になっている(連想的な意味でのしりとりになっている)とき、話題の引き込みに成功したと判断して、自分の知識を提供することでその話題を継続する。このとき、聞き間違いから大人の意思とは無関係に発話している場合もある。それにもかかわらず、子供と話している大人の方が思いもよらなかった、その幼児がいつの間にか身につけていた能力やその幼

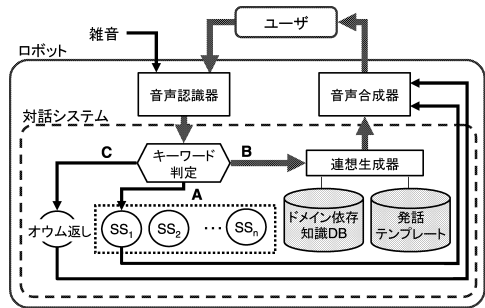


図 1 連想しりとり型対話戦略の動作メカニズム

Fig. 1 Mechanism for dialog strategy of Associative Shiritori.

表 1 ロボット-ユーザ間で実現される対話

Table 1 Dialogues between robot and user.

対話の種類	対話の開始	対話の終了	対話の内容
(A) サービス対話	サービススクリプト(SS)内に記述されたキーワードを含む	サービスの完了	サービス実行に伴う対話
(B) 連想しりとり対話	(A)に該当せず、ドメイン依存知識DB内に記述されたキーワードを含む	(A)サービス対話の開始、タイムアウト	連想生成器とユーザの連想によるしりとり対話
(C) オウム返し対話	(A)と(B)のキーワードを含まない	オウム返し発話	ユーザ発話に対応するアクションが無いことの伝達

児のものの考え方に気づかされるような場面が日常生活に多々ある。本研究ではこのような連想による対話のキャッチボールを連想しりとり対話と名づけ、その対話戦略をロボット対話システムに実装した。このメカニズムを図 1 に示す。

図 1 においてロボットの音声認識器には、大語彙・連続音声認識システム (Julius) を用いている¹³⁾。そして、キーワード判定部では、音声認識器から送られてくる文章を常時監視し、あらかじめ登録されているキーワードと一致する語があったとき、そのキーワードの登録元に応じて、サービススクリプト (SS) あるいは連想生成器に受け渡す (図中 A, B)。いずれにも一致しないときには、オウム返し部に受け渡す (C)。キーワードはサービス実行あるいは連想しりどりのトリガとなる語としてあらかじめ選定する。連想しりどりのための連想生成器は、ドメイン依存知識を参照して選定される。このような設計によって、サービススクリプトの追加や、ドメイン依存知識の追加を自由に行い、そのつどキーワードの設定も追加することで、幅広いドメインに対応できる柔軟な対話メカニズムとすることができた (A) から (C) の 3 種類の対話を整理したものを表 1 に示す。

なお、音声認識辞書の言語モデルは、以下のテキストを用いて作成した。

- Web 掲示板から集めた (料理関連/医療相談) テキスト (41 Mbyte)

- ドメイン依存知識 DB の元となった料理レシピ集 (705 Kbyte)
- (TV/時計/タイマ/部屋カメラ) 操作関連の想定対話 (212 Kbyte)
- チャットのログ (84 Mbyte)
- 音声案内ロボットの収集ログ (310 Kbyte)

キーワードがキーワード判定部から、該当するサービススクリプト (SS) に受け渡されたとき、ロボットは、そのスクリプトの記述に従って、ユーザと対話を進めつつサービスを実行する。これが表 1 の (A) サービス対話である。キーワードが連想生成器に受け渡されたときには、ロボットは (B) 連想対話を開始し連想生成器を用いて発話を生成する。音声認識器が複数のキーワードを認識した場合は、音声認識の 10-best 結果に対し、キーワードに一致した文字数と認識順位をスコアとして加算し、最もスコアの高い SS を選択する¹³⁾。

ユーザ発話が (A) に該当せずドメイン依存知識 DB 内に記述されているいずれかのキーワードを含む場合、ロボットは (B) 連想対話を開始し連想生成器を用いて発話を生成する。図 1 から分かるように、ロボットは、ユーザ間対話への割込みや誤認識による偶発的なキーワードの一致によって、連想しりとり対話を開始することができる。それに対しユーザが何のリアクションも示さない場合そこで対話は終了する。しかし、ロボット発話がユーザの連想を喚起し、新たなユーザ発話を引き出すことに成功した場合、連想しりとり対話は継続する。ドメイン依存知識はロボットが提供するサービスに関わる知識であるため、ロボットの発話からユーザが自分の潜在的なニーズに気がつき、サービスを発火させるキーワードを発話する可能性がある。このときロボットは、連想しりとり対話を終了しサービスを発火させる。このようにして、ユーザ間対話への割込みや偶発的なキーワードの一致によってロボットから対話を開始し、ユーザの潜在的なニーズを引き出すことができる。

ユーザ発話が (A) と (B) のキーワードを含まない場合、ロボットは「(ユーザ発話の音素列) ってなあに」とオウム返しを行う。オウム返しは、基本的に (A) サービス対話や (B) 連想しりとり対話の中でも実行され、そのユーザ発話に対してはアクションができないということをユーザに通知する。このオウム返しの動作は、幼児が大人との対話で示す行動を模倣したものであり、この機能によって、ユーザはロボットが認識することができる語彙と、理解して何かを実行できる語彙が何であるのかということが理解でき、そ

の後の対話を円滑にする。

また単純なことではあるが、幼児と大人の会話を観察して分かることとして、どんな喋り方をしたときに聞き取ることができないのか、あるいはどのように聞き間違えるのかというフィードバックによって、大人は喋りかたをコントロールしている。類似のことは、ロボット (音声認識システム) とユーザの間でも起きると考えられる (今回は、まだ明確な比較実験を行っていない)。

連想生成器は、ドメイン依存知識 DB と発話テンプレートをを用いて連想発話を生成する。ドメイン依存知識 DB は、キーワードを木構造に構造化した知識ベースである、最初に連想生成器は、ドメイン依存知識 DB 上のキーワードと、ユーザ発話とのマッチングをとる。次に、マッチしたキーワードから木構造を伝って新たなキーワードを選択する。最後に、この 2 つのキーワードを発話テンプレートにあてはめ、連想発話を生成する。以上の処理をユーザ発話ごとに行うことで、連想しりとり対話を実現している。

3. 実験の概要

2 章で説明した連想しりとり型対話戦略を、ユビキタスホーム上の対話型インタフェースロボットに実装し、66 種のサービスをロボットとの対話により提供できるようにした。表 2 はそれらのサービスを分類したものである。たとえば提示サービスとしては、料理レシピの TV 画面表示や表示したレシピの印刷が、検索サービスとしては、材料名や料理ジャンル名による検索が、実装されている。一方、連想しりとり対話を実行するために、1,000 個の料理レシピよりキーワードのツリーを作成し、ドメイン依存知識 DB に組み込んだ。このようなシステム環境を整えて、そこで被験者家族に 2 週間程度生活をしてもらい、実働環境における対話システムの評価と問題点の分析を行った。

ユビキタスホームはマンションを模した居住空間であり、リビング、書斎、寝室、ダイニング・キッチン、浴室、トイレなどを完備し、ここで実際に 1 世帯の家

表 2 ユビキタスホームに実装したサービス
Table 2 Services implemented in Ubiquitous Home.

サービス	内容	発火条件	例
単独操作	ロボットはユーザの要求に沿って家電を制御する	動詞+ アプライアンス	テレビのON/OFF, 空調の強弱
提示	ロボットはユーザの要求に沿ってコンテンツを提示する	動詞+ コンテンツ	料理レシピのTV画面表示, 印刷
検索	ロボットはユーザの要求に沿って検索結果を提示する	動詞+検索対象 +検索範囲	料理レシピの検索, TV番組の検索
反射	ロボットはユーザ発話に対し反射的な応答を行う	感嘆詞, センザイベント	あいさつ, 叩かれたことに対する反応
説明	ロボットはユーザ発話に対し説明を行う	理由を尋ねる 疑問詞	推薦した番組の理由説明



図 2 ユビキタスホームのリビングの様子

Fig. 2 Overview of the living room in Ubiquitous Home.



図 3 Phyno

Fig. 3 Phyno.

族が生活することができる。また、ユビキタスホームには居住空間のあらゆる所にネットワークで結合された各種センサや家電機器を設置しており、それらを統合的に管理することで、新しい生活支援サービスを実現する。ユビキタスホームのリビングの様子を図 2 に示す。各部屋には、カメラ・マイクなどの各種センサと、対話型インタフェースロボットが設置されている。これらのロボットは Phyno と呼ばれ、幼児の声や仕草を持つ¹⁴⁾。図 3 にその外観を示す。

生活実証実験を行うにあたって、この研究に関わりがない第三者のボランティアを被験者として募った。日常生活におけるユーザの潜在的なニーズを引き出すといった効果を検証するには、長期間にわたってロボットと人間とのインタラクションを行う実証実験が必要となる。そのため被験者には、通勤・通学を含む日常生活を普段どおりに行ってもらえるように、マンスリーマンションと同じように鍵を渡した後は、よほどのトラブルがない限り実験者側も被験者の生活にはいっさいの干渉を与えないという実験方法をとった。被験者には、サービスの概要と連想しりとりについて説明したうえで、自由にロボットと対話させた。ただし、家電機器や照明などの操作にはロボットとの対話を用い、リモコンはどうしても対話インタフェースでの制御ができない場合のみ使用するよう要求した。以上の生活の様子を、被験者の同意を得たうえで、カ

表 3 被験者の家族構成

Table 3 Family structures of testees.

家族	被験者	夫婦の世代	実験期間
I	夫・妻・娘(3歳)	30代	12日間
II	夫・妻・娘(12歳)	40代	14日間
III	夫・妻・娘(3歳)・息子(0歳)	30代	16日間
IV	夫・妻	60代	16日間

メラ・マイク・IC タグなどによりすべて電子的に記録した。このとき、被験者のプライバシーに配慮し、風呂場にはカメラを設置せず、寝室ではカメラに常時カバーを掛けた。また、被験者の要望に応じて他のカメラにもカバーを掛けるようにした。

また、以上の実験にあたって、研究の概要、実験場所・使用する特殊装置、被験者に与える精神・心理的負荷、被験者との同意のとり方、被験者の人権に配慮したデータの取り扱いについて十分検討したうえで、独立行政法人情報通信研究機構生体情報研究倫理委員会の承認を得た。

生活実証実験は全部で 4 回行われた。表 3 は被験者家族の構成と実験期間を示す。このうち、家族 I の実験時は提供可能なサービス数がまだ十分ではなく、家族 I がロボットに対して行った発話内容も限られる状況であった。また、家族 III は育児に忙しく十分にレシピ提示システムを利用できない状況であった。そのため、実験結果の定量的な解析においては、家族 I と家族 III のデータを除外し、十分なデータ量が得られている家族 II と家族 IV のデータを用いて解析を行った。

4. 実験結果

被験者には生活実証実験中に調理したすべての料理について記録してもらい、レシピ提示サービスの動作ログと比較した。家族 II は 38%、家族 IV は 27% の料理を、ロボットが提示したレシピを利用して調理していた。このことから、ロボットを通じ家庭内で日常的にサービスを利用していたことが分かる。

以下本章では、連想しりとり型対話戦略の有効性を数量的に評価するため、これらの対話ログから表 1 の (B) 連想しりとり対話が行われている箇所を抽出し、サービスを実行できた対話の回数などについて解析した結果について述べる。表 1 の定義に基づき機械的に対話を区切っているが、対話のコンテキストが継続していると考えられる部分は、1 対話として数えた。

4.1 連想発話に対するユーザの反応率

ここでは表 1 の (B) 連想しりとり対話と判定された実際の対話の音声テキストを書き起こし、以下の 4 種に分類した。

表 4 連想発話に対するユーザの反応率

Table 4 Rate of user's reaction to associated utterance.

(a) 家族IIに対して発生した連想しりとり			
対話の開始主体	総対話数	反応数	反応率
B1) ユーザから対話を開始	43	43	100%
B2) ユーザ間対話に割り込み	19	2	11%
B3) ユーザ発話を誤認識	24	6	25%
B4) 雑音を誤認識	57	4	7%
合計	143	55	38%

(b) 家族IVに対して発生した連想しりとり			
対話の開始主体	総対話数	反応数	反応率
B1) ユーザから対話を開始	10	10	100%
B2) ユーザ間対話に割り込み	94	14	15%
B3) ユーザ発話を誤認識	64	17	27%
B4) 雑音を誤認識	23	3	13%
合計	192	44	23%

- B1) ユーザから対話を開始 ユーザがドメイン依存知識 DB のキーワードを用いてロボットに発話し、ロボットが正しくキーワードを認識したケース .
- B2) ユーザ間対話に割り込み 認識の成否にかかわらず、ユーザ間の対話から連想しりとり対話を開始したケース .
- B3) ユーザ発話を誤認識 ユーザがロボットに向けて行った発話を誤認識して連想しりとり対話を開始したケース .
- B4) 雑音を誤認識 雑音を誤認識して連想しりとり対話を開始したケース .

日常生活中にロボットから対話を開始しても、ユーザがそれを無視するのが普通であると考えられ、このロボット発話に対してユーザが反応したかどうかは、対話システムの好感度を判別する 1 つの指標になると考えられる . 表 4 は、生活実証実験期間中における連想しりとり対話の発生回数と、連想発話に対しユーザが音声で反応を示した回数を表したものである . 家族 IV の実験において、家族 II に比べ対話に割り込んだ回数が増加し、雑音を誤認識した回数が減少しているのは、雑音の棄却率が向上したからである¹³⁾ .

B1) ユーザから対話を開始したケースでは、ユーザはロボットから答えが返ってくることを期待して発話しているため、必然的に 100% の反応率となったものと考えられる .

B2) ユーザ間対話に割り込んだケースでは、家族 II で 11%、家族 IV で 15% の反応率となった . 特に家族 IV においては天井カメラの記録を解析して、電話中にロボットが割り込もうとしたケースが 23 例あることが分かった . 以上のケースではすべてユーザがロボットを無視しているが、これはユーザがロボットを無視してもやむをえない状況であると考えられるので、対話戦略の評価からは除外すべきである . このケースを除外すれば反応率は 20% となり、ユーザ間対話への割り込みに十分成功しているといえる . ただし、記録映

表 5 ユーザが連想発話に反応したケースの内訳

Table 5 Classification of user's reaction to associated utterance.

(a) 家族IIが連想発話に反応した結果							
対話の開始主体	対話の結果					反応の総数	サービスの実行率
	反応のみ	対話のみ	表示	印刷	調理		
B1) ユーザから対話を開始	0	3	21	11	8	43	93%
B2) ユーザ間対話に割り込み	0	0	0	1	1	2	100%
B3) ユーザ発話を誤認識	2	0	1	1	2	6	67%
B4) 雑音を誤認識	2	1	0	1	0	4	25%
合計	4	4	22	14	11	55	85%

(b) 家族IVが連想発話に反応した結果							
対話の開始主体	対話の結果					反応の総数	サービスの実行率
	反応のみ	対話のみ	表示	印刷	調理		
B1) ユーザから対話を開始	0	0	5	4	1	10	100%
B2) ユーザ間対話に割り込み	8	4	0	0	2	14	14%
B3) ユーザ発話を誤認識	7	7	2	1	0	17	18%
B4) 雑音を誤認識	3	0	0	0	0	3	0%
合計	18	11	7	5	3	44	34%

像を見直してみると、電話中にロボットからの発話があった場合のユーザの反応には、大きく 2 つのケースがあった . 1 つはユーザが電話の相手との話に熱中しているときであり、このときには完全に無視される . そうでない場合には、ユーザはロボットの方に視線を動かすという挙動が観察され、その様子は親が電話中に幼児が何かを喋ったときの挙動に類似しているということも分かった .

B3) ユーザ発話を誤認識したケースでは、多くの場合ユーザは同じ発話を繰り返すか、「2 チャンネルをつけて」を「NHK をつけて」のように表現を変えて同様の要求を繰り返す . 表 4 ではこれらのケースを未反応に分類している . それにもかかわらず、家族 II で 25%、家族 IV で 27% と、B2) のケースよりも高い反応率となった . これは、ユーザ発話を誤認識した場合、すでにユーザはロボットに注意を向けているため、ユーザ間対話への割り込みに比べ反応率が上がったものと考えられる .

B4) 雑音を誤認識したケースで 7%、13% という反応率になっているのは、ユーザのロボット対話への好感度を裏づけているものと考えられる .

4.2 サービス実行率

ここでは前節で述べたユーザが反応したケースについて、その対話の結果を 5 種類に分類した . 結果を表 5 に示す .

反応のみ ユーザが独り言やユーザ間対話などの音声で反応を示すにとどまったケース

対話のみ ユーザがロボットに向かって発話を行ったが、サービスの実行には至らなかったケース

表示 ユーザがレシピの TV 表示を要求したケースで、「印刷」「調理」に含まれないケース

印刷 ユーザがレシピの印刷を要求したケースで、

「調理」に含まれないケース

調理 ユーザが表示あるいは印刷されたレシピを用いて調理を行ったケース
サービス実行率は、以下の式で定義した。

$$\text{サービス実行率} = \frac{\text{表示} + \text{印刷} + \text{調理}}{\text{反応数}} \quad (1)$$

B1) ユーザから対話を開始した場合のサービス実行率は、家族 II が 93%、家族 IV が 100% と高い。これは前節で述べたのと同じく、ユーザから積極的に望んだ対話だからであろう。

B2) ユーザ間の対話に割り込んだ場合、家族 II において 100%、家族 IV において 14% のサービス実行率となった。家族 II の 100% は事例数が 2 と少ないため偶然と思われるが、家族 IV の結果は、一般的に子供と話して有益な何かに気がつくというような対話は、1 週間に 1 回あるかないかといった稀な現象であることから考えても妥当な結果と考えられる。また、実際にレシピを印刷し調理したという結果からは、ユーザ間対話への割り込みによりユーザの潜在的なニーズを引き出すことができたといえる。

B3) ユーザ発話を誤認識したケースでは、家族 II で 67%、家族 IV で 18% のサービス実行率となった。実際にユーザが調理する例もあり、偶発的な対話により潜在的なニーズを引き出すことができたといえる。発話を聞き間違えた子供に対し大人の方が話を合わせるという行動が、ロボットに対してもとられたものと考えられる。

B4) 雑音を誤認識した場合のサービス実行率は、家族 II で 29%、家族 IV で 0% となった。これらの数値に関しては事例数も少ないので、今後の検討課題としたい。

4.3 アンケートに基づく分析結果

実験期間中にユーザが記録したアンケートから、ユーザの評価を含む箇所を抽出した（家族 II）。

- (1) 1 つの材料で、いろいろなレシピを出すのに時間がかかった（2 日目）
- (2) 同じ条件でたずねると同じレシピを何度も言うけど、それしかメニューがない訳でもなさそう？（3 日目）
- (3) 急に何かのメニューを言い出すのは、音に反応しているから？時々「あ、それいいね。レシピ見せて」とつながるのが楽しい（6 日目）
- (4) 1 人で台所仕事をしているときに、もっと Phyno とコミュニケーションをとりたい（6 日目）
- (5) 多くのメニューを出すことがやっとできた（8

No	話者	実際の対話	音声認識結果
1	User	どりあえず待たしているからごはんに	ごはんもね。
2	Robot	ごはん料理のタケノコごはんは、和食だよ	
3	User	タケノコごはんのレシピを出して	タケノコごはんのレシピのなして。
4	Robot	わかった、タケノコごはんのレシピをだす	
5	User	レシピを印刷して	レシピを印刷してね。
6	Robot	タケノコごはんのレシピを印刷したよ	

図 4 ユーザ間対話への割り込みによる対話例

Fig. 4 A dialog of robot's interruption of users' conversation.

日目)

(1) の段階でサービスの実行に手間どっていたユーザが、(2) では連想しりとり対話を通じて、ロボットの持つ知識（語彙や実行できるサービスの詳細など）を把握し始めていることが分かる。

(3) から (4) では、連想しりとり対話の特徴を理解し、ロボットとの対話を楽しみ始めているものと考えられる。家族 IV のアンケートにおいても、「近くで話をしているとその中の一部をとらえていると話しかけてくる。なかなか面白い」という回答があることから、ロボットから対話を開始する対話戦略に対し、ユーザはおおむね好意的な印象を持ったことが分かる。

(5) では、材料名からレシピを検索するサービスの存在を発見している。以上の (1) から (5) を通じて連想しりとり対話戦略がシステムに対するユーザの理解を促進していることが確認されたといえよう。

一方で、本研究が提案する対話戦略モデルは、対象とするユーザの年齢を限定せず、大人から見ても子供から見ても 3 歳の幼児の対話能力はこの程度として許容されることを想定していたが、実験後のインタビューから、家族 II の娘からはロボットとの音声対話に対し好印象を得られなかったことが分かった。これは、塾や宿題などで忙しかったことに加え、子供の女声は音声認識の成功率が低いことが原因であった。

4.4 サービスが実行された対話事例

本節では、ロボットから対話を開始して、サービスが実行された具体例について述べる。

(i) ユーザ間対話に割り込んだケース（図 4）

1 行目のユーザ間対話の発話に対し、ロボットは「ごはん」をとらえ、2 行目の発話を行った。3 行目でユーザはサービスを要求した。ユーザがこの印刷したレシピを用いて調理を行ったということが、アンケートにより確認されている。

(ii) ユーザ発話を誤認識したケース（図 5）

1 行目でユーザはロボットに対して挨拶し、ロボットから挨拶が返ってくることを期待していたものと考えられる。しかし、ロボットはそのユーザ発話を誤認識し、連想しりとり対話を開始した。その結果「ごは

No	話者	実際の対話	音声認識結果
1	User	おはよ、遊びに行きたいね	ふ、ごはんや、遊びに行きたいです。
2	Robot	ごはん料理には、エダマメごはんがあるよ	
3	User	何のごはんですか？	ふつうのごはんですか。
4	Robot	ごはん料理には、豆ごはんがあるよ	
5	User	レシピを印刷して	にレシピを印刷して。

図 5 ユーザ発話の誤認識による偶発的な対話例

Fig. 5 An accidental dialog by erroneous recognition of user's utterance.

No	話者	実際の対話	音声認識結果
1	User	食器を置く音	ヒーマン。
2	Robot	ヒーマンは豚薄切り肉のマリネに使われているよ	
3	User	もう一回言って	もういいよね。
4	Robot	「もういいよね。」って何？	
5	User	レシピを見せて	ん、レシピを見せて。
6	Robot	わかった、豚薄切り肉のマリネのレシピをだすよ	
7	User	レシピを印刷して	レシピを、印刷して
8	Robot	豚薄切り肉のマリネのレシピを印刷したよ	

図 6 雑音の誤認識による偶発的な対話例

Fig. 6 An accidental dialog by erroneous recognition of noise.

ん」の話題にユーザを引き込み、最終的にユーザはレシピの印刷を要求した。ユーザ発話の誤認識による偶発的な対話よりユーザの潜在的なニーズを引き出した例である。

(iii) 雑音を誤認識したケース (図 6)

食器を置く音をロボットが誤認識し連想しりとり対話を開始し、ユーザがこれに興味を示し、最終的にロボットが連想した料理を印刷している。これは、雑音によって偶発的に開始された連想しりとり対話によって、ユーザの潜在的なニーズを引き出した例であるといえる。

(iv) 遅延を含む連想しりとりが起きたケース (図 7)

これは、家族 II の実験時に発生した、遅延を含む連想しりとりが起きた特殊なケースである。1 行目でロボットは TV 視聴中のユーザ同士の会話を誤認識し、ユーザ間の対話に割り込んだが、ユーザはそれを無視した。しかし、30 分後 TV を見終わったユーザは、ロボットの発話したキーワードを用いてレシピを探し、印刷している。また、このレシピは後日実際に調理に利用されていることが確認されている。

これは、ロボットの連想発話が即座にサービスに結びつかなくても、ユーザの記憶に残り、時間が経過してからでも連想しりとりが継続するという興味深い事例である。家族 IV においても、夜に連想しりとりを行って表示したレシピを翌朝検索するといった、類似の対話事例が確認されている。

4.5 サービスに至らなかった対話事例

(i) 対話のみで終了したケース (図 8)

TV を見ながらのユーザ間対話にロボットが割り込

No	話者	実際の対話	音声認識結果
1	User	おはさん(笑)(母と娘がTVを見ながら会話中)	ゴボウ。
2	Robot	ゴボウが使われている五目炊きこみ飯は和食だよ	
3	User	ゴボウの料理を教えてください(上記の発話から30分後(-発話された))	ゴボウの料理を教えてください。
4	Robot	ゴボウとタマネギは根菜のトマトスープに使われているよ	
5	User	レシピを見せて	レシピを見せて。
6	Robot	わかった、根菜のトマトスープのレシピをだすよ	
7	User	レシピを印刷して	レシピは、印刷して。
8	Robot	根菜のトマトスープのレシピを印刷したよ	(このレシピは後日調理された)

図 7 遅延を含む連想しりとり対話事例

Fig. 7 A dialog of Associative shiritori with delay.

No	話者	実際の対話	音声認識結果
1	User1	(TVを見ながら)でっかい歯やなあ。そんなおっきい口開いて笑うたらな、さんまみたいやで。	うちの入ったのだが、さんまのかな。
2	Robot	さんまは、さんまと切り昆布の梅干し煮に使われているよ	
3	User1	「そんなおっきい口開いて」が「さんま」に聞こえたんやろか	
4	User2	お前「さんま」言うてたよ	
5	User1	(フィリに向かって)かしこいねえ	

図 8 連想しりとりに対し対話のみで終了した例

Fig. 8 A dialog example of Associative Shiritori finished through conversation-only.

んでおり、ユーザがロボットに対応すると同時にユーザ間の対話も生じさせている点が注目になる。このほかにも、ロボットから対話を開始した際に、「賢いね」「ありがとう」といった反応も見られた。これらも興味深い現象である。そこで、ロボットの全発話数に占める挨拶の割合を比較したところ、家族 II の 7% に比べて家族 IV は 18% と高く、家族 IV は家族 II に比べ「ロボットと会話を楽しみたい」という意識が強いユーザであったと推測される。そのため家族 IV では、「反応のみ」や「対話のみ」に分類される対話が多くなり、サービス実行率が低下したものと考えられる。

以上のように今回の生活実験では、ユーザがロボットとの対話に対して持っている意識によって、ユーザの反応に大きな差があることが分かった。今後は、個人適応の面から対話戦略のさらなる改良が必要と考えられる。

(ii) 連想しり通りの抑制が必要なケース

4.1 節で述べたように、電話中などのユーザが対応しにくい状況における連想しりとり対話の開始を抑制する必要のあるケースがいくつか見ついている。3 歳程度の子供でも状況を把握してむやみな発話を慎む能力があることから、このロボットのユーザも当然その程度の対話能力を期待すると考えられるので、対話戦略には抑制機能が必須のものであると考えられる。

連想を抑制すべき状況としては、電話のほかにも、すでにサービス実行に移行している場合や、ユーザ間で活発に会話が行われている状況が、生活実験を通し

て観察されている。また、特に電話中のケースで顕著であったが、ユーザが相手の人間との対話に熱中しているときにはロボットは完全に無視されるが、熱中していないタイミングでのロボットの連想しりとり発話に対してはユーザがロボットに視線を向ける、ということが確認されている。これは特に電話中のケースで顕著であった。これらのことから、連想しりとり発話メカニズムの抑制には、実行されているサービスに依存するユーザの余裕度の推定や、ユーザ間の対話の活性化度を計測する方法が有効であろうと考えられる。

5. おわりに

家庭内ユビキタス環境における対話型ロボットインタフェースを、生活実証実験を通じて評価した。その結果、提案した連想しりとり型対話戦略は、ユーザ間の対話に割り込んだり、音声や物音の誤認識による偶発的な事象をきっかけとして対話を開始したりすることが可能であり、開始した対話を継続することでユーザの潜在的なニーズを引き出すことができるということを示した。

連想しりとり型対話戦略を、66種のサービスを実行できるロボットの音声対話システムに実装し、被験者に日常生活で実際に利用してもらった。4家族にそれぞれ2週間寝食を含む生活をしてもらい、本論文ではそのうち2家族について対話ログを詳細に解析した。対話内容を解析することで、連想しりとり対話がユーザの潜在的なニーズを引き出し、その結果、実際に料理が作られていることなどが確認できた。そして、ロボットに対して1割程度の反応率が得られていることが分かった。また、このユーザが反応したケースをさらに分類した結果、サービス実行率は14~67%であった。以上のことから対話戦略の有効性を示すことができた。また、ユーザのアンケートから、連想しりとり型対話戦略はシステムへの理解を促進させている効果があることも明らかとなった。

今後は、ユビキタス環境において取得可能なコンテンツを整理するとともに、個人に適應できるメカニズムを構築していく必要がある。また、連想しりとり対話の開始を状況によって抑制するメカニズムの追加などを行って、ユーザ発話に対しより柔軟な応答が可能なシステムを開発していく予定である。

参 考 文 献

1) Kidd, D.C. Orr, R.J., Abowd, G.D., Atkeson, C.G., Essa, I.A., MacIntyre, B., Mynatt, E., Starner, T.E. and Newstetter, W.:

The Aware Home: A Living Laboratory for Ubiquitous Computing Research, *Proc. 2nd International Workshop on Cooperative Buildings — CoBuild'99*, Position paper (1999).

2) 佐藤知正, 森 武俊, 西田佳史:平成13年度未踏ソフトウェア創造事業佐藤・森・西田プロジェクト研究計画. <http://www.ics.t.u-tokyo.ac.jp/ipa/ipa2001/jpublication/satomori/rr2.html>

3) 独立行政法人産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センター. <http://www.dh.aist.go.jp/>

4) 美濃導彦: ゆかりプロジェクトの目的と概要—UKARI プロジェクト報告 No.1, 情報処理学会第66回全国大会, pp.5-5-5-8 (2004).

5) 山崎達也, 沢田篤史, 多鹿陽介, 大倉計美, 中尾敏康, マハグドヌリシラジ, 佐野睦夫, 金田重郎: ゆかりプロジェクトにおける分散協調基盤ミドルウェア—UKARI プロジェクト報告 No.2, 情報処理学会第66回全国大会, pp.5-9-5-12 (2004).

6) 土井美和子: 分散環境行動 DB と場モデルに基づくユビキタスインタフェース設計—UKARI プロジェクト報告 No.3, 情報処理学会第66回全国大会, pp.5-13-5-16 (2004).

7) 上田博唯: ユビキタス生活支援のためのロボットインタフェース—UKARI プロジェクト報告 No.4, 情報処理学会第66回全国大会, pp.5-17-5-20 (2004).

8) 上田博唯, 佐藤 淳, 近間正樹, 木戸出正継: アンコンシャス型ロボットとビジブル型ロボットの協調メカニズム—母親・子供メタファ, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.6, No.3, pp.57-64 (2004).

9) 上田博唯: センサーネットワークと家電製品とを統合したサービス提供 NICT ユビキタスホームにおける事例, 情報処理学会研究報告, 2006-CVIM-152, pp.61-68 (2006).

10) 上田博唯, 小林亮博, 佐竹純二, 近間正樹, 佐藤 淳, 木戸出正継: ユビキタス環境における対話型ロボットインタフェースのための対話戦略の構築, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.1, pp.87-97 (2006).

11) 大中慎一, 安藤友人, 岩沢 透: 人とのインタラクティブ機能を持つパーソナルロボット PaPeRo の紹介, 情報処理学会研究報告, 2001-SLP-37, pp.37-42 (2001).

12) 清水陽司, 黒橋禎夫, 木戸冬子: 大規模テキスト知識ベースに基づく自動質問応答—ダイアログナビ, 自然言語処理, Vol.10, No.4, pp.145-175 (2003).

13) 西村竜一, 近間正樹, 小林亮博, 佐竹純二, 上田博唯: ユビキタスホームにおける対話ロボットののための音声・雑音認識の開発, 電子情報通信学会技術研究報告, 2005-PRMU-8, pp.47-52 (2005).

14) 上田博唯, 近間正樹, 佐竹純二, 佐藤 淳, 木戸出正継: ユビキタスホームにおける対話イ

インタフェースロボットの試作，情報処理学会研究報告，2005-MBL-32 (2005).

(平成 18 年 5 月 12 日受付)

(平成 19 年 2 月 1 日採録)



小林 亮博 (正会員)

平成 10 年京都大学工学部物理工学科卒業．平成 12 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科修士課程修了．平成 17 年同大学博士課程修了．博士 (工学)．現在 (独) 情報通信研究機構専攻研究員．対話システム，非言語インタフェースの研究に従事．電子情報通信学会，人工知能学会，ロボット学会各会員．



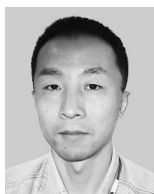
上田 博唯

昭和 48 年大阪大学大学院通信工学専攻修士課程修了．同年日立製作所中央研究所入社．昭和 63～平成 5 年 3 月 FRIEND21 研究センター次長兼務．平成 6 年日立電子 (現，日立国際電気) 開発研究所部長．平成 15 年情報通信研究機構専攻研究員．平成 18 年京都大学大学院情報学研究科客員教授．博士 (工学) (東京大学)．ヒューマンインタフェース，知的映像ハンドリング，ユビキタスシステムに関する研究に従事．非破壊検査協会優秀論文賞，テレビジョン学会藤尾記念賞，映像情報メディア学会藤尾フロンティア賞等を受賞．電子情報通信学会フェロー．



佐竹 純二

平成 10 年岡山大学工学部情報工学科卒業．平成 12 年同大学大学院修士課程修了．平成 15 年同大学院博士課程修了．博士 (工学)．現在，(独) 情報通信研究機構専攻研究員．コンピュータビジョン，ロボット対話，ヒューマンインタフェースに関する研究に従事．電子情報通信学会会員．



近間 正樹

平成 16 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程中退．現在，情報通信研究機構ユニバーサルシティグループで技術補助員を行っている．



木戸出正継 (フェロー)

昭和 45 年京都大学大学院工学研究科修士課程修了．同年東京芝浦電気 (現，東芝) 総合研究所入社．同社総合企画部，関西研究所，東芝アメリカ社を経て，平成 12 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授．京都大学工学博士．パターン認識，ロボットビジョン，ヒューマンインタフェース，ウェアラブルコンピュータに関する研究に従事．電子情報通信学会フェロー，情報処理学会フェロー，IEEE フェロー，IAPR (国際パターン認識協会) フェロー，電子情報通信学会業績賞，高柳記念奨励賞，等を受賞．情報処理学会関西支部長，電子情報通信学会理事，MVA 国際ワークショップ組織委員長，IEEE ウェアラブルコンピュータ国際シンポジウム実行委員長等を歴任．