

ヒューマンロボットインタラクションにおける 共同的記憶想起対話の研究

A Study on Collaborative Memory Recall Dialogue in Human-Robot Interaction

中村 颯^{1*} 松岡 竜輝² 三宅 芹奈² 李 翰柱³ 今井 倫太^{1,2}
So Nakamura¹, Ryuki Matsuoka², Serina Miyake², Lee Hanju³, Michita Imai^{1,2}

¹ 慶應義塾大学理工学部

¹ Faculty of Science and Technology, Keio University

² 慶應義塾大学大学院理工学研究科

² Graduate School of Science and Technology, Keio University

³ 株式会社デンソー

³ DENSO CORPORATION

Abstract: This paper proposes Tracing Memory Robot (TMR), a dialogue system that reproduces collaborative memory recall dialogue observed in human interactions. In human collaborative memory recall, participants with incomplete memories engage in mutual confirmation and supplementation to reconstruct past events. To reproduce this dialogue pattern in human-robot interaction, TMR employs referable memory that intentionally abstracts past dialogue histories, enabling the robot to behave as an agent attempting recall. Through spoken dialogue experiments using the humanoid robot Sota with 10 participants, we demonstrated that the referable memory condition significantly increased user utterances referring to past memories and enhanced the robot's perception as a recall agent, successfully reproducing dialogue patterns characteristic of collaborative memory recall.

1 はじめに

大規模言語モデルの発展により、自然言語で対話を行うロボットの実現が進んでいる。対話ロボットは記憶を持つことで単発的な情報提供にとどまらず、ユーザと長期的な関係性を築く存在としての利用が期待されている。

人間同士の対話では、個々の記憶は不完全であり、忘却を前提として対話が行われる。対話者は互いに記憶内容の確認や補完を伴う発話を通じて、過去の出来事を再構成する。複数の人々が協力して過去を思い出す過程を共同的記憶想起と呼ぶ [1]。共同的記憶想起には、対話を通じて互いの認識を一致させ、長期的な関係性を維持する機能がある [1]。対話ロボットがユーザと長期的な関係を築く上でも、共同的記憶想起が生じる対話を実現することが重要であると考えられる。

しかし、大規模言語モデルを用いた対話ロボットで

は、共同的記憶想起が生じにくい。理由として、ロボットが過去の対話内容を完全な情報として保持している場合、記憶に関する発話において断定的な提示を行いやすいことが挙げられる。Xiong ら [2] は、大規模言語モデルが自身の不確実性を適切に表現できず、過信的な応答を生成する傾向があることを指摘している。ロボットの断定的な提示は、ユーザが記憶を確認・補完する余地を減少させ、ユーザとロボットが相互に関与しながら記憶を想起する対話の形成を困難にする。

本稿では、人間同士に見られる共同的記憶想起対話をロボットとユーザ間で再現することを目的とする。そのために、大規模言語モデルを用いた対話システム TMR (Tracing Memory Robot) を提案する。TMR は、過去の対話履歴を意図的に抽象化して保持する参照可能記憶を備えることで、ロボット自身も想起を試みる存在として振る舞い、ユーザと共に過去を思い出す対話パターンを形成する。

*連絡先：慶應義塾大学理工学部情報工学科
〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1
nakamura@ailab.ics.keio.ac.jp

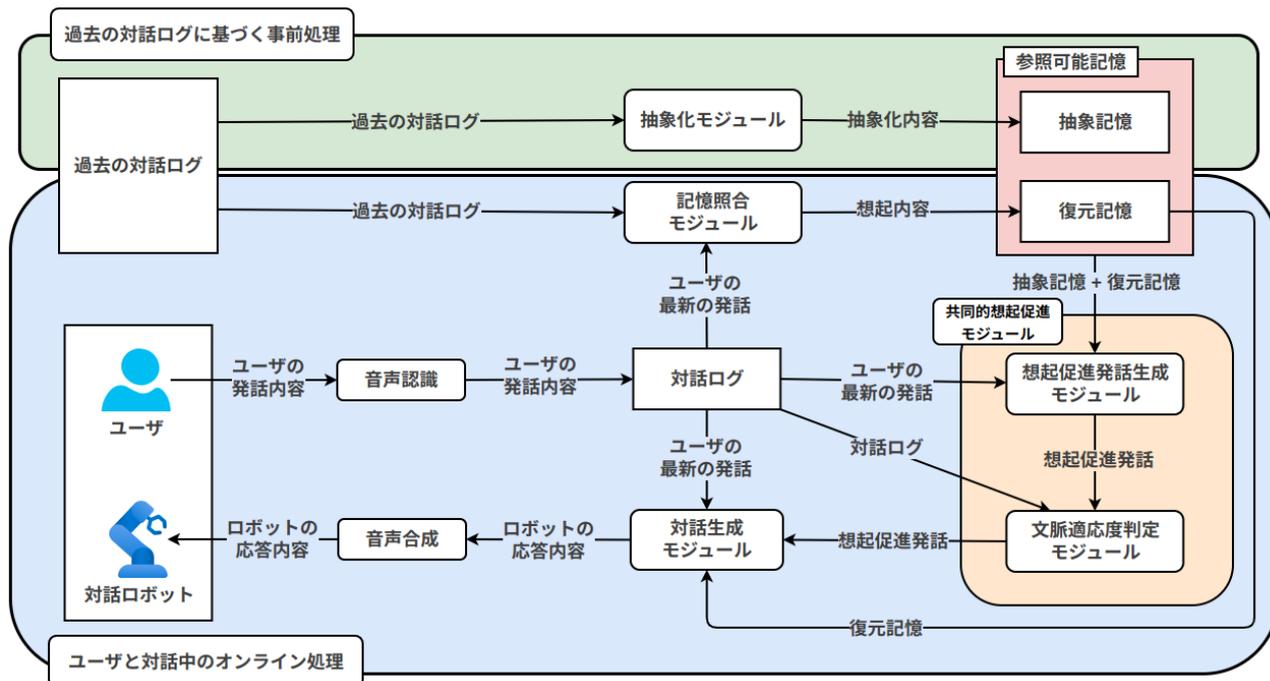


図 1: TMR のシステム構成

2 関連研究

2.1 対話ロボットにおける記憶機構

人間との長期的関係を考えたとき、対話ロボットには過去の対話内容を効率的に保持・参照する記憶機構が必要である。Wang ら [3] は対話履歴を再帰的に要約する手法により長期対話の一貫性を維持し、Contreras ら [4] はベクトル検索による記憶想起機構を提案している。Lighthart ら [5] は記憶ベースのパーソナライゼーションにより子どもとロボットの長期的関係が促進されることを示している。

また、ユーザの記憶想起を促進する研究として、下山ら [6] は、旅行写真を媒介とした対話を通じてユーザのエピソード記憶を想起させる手法を提案している。

しかし、以上の記憶を扱った研究では、ロボットが過去の対話内容を完全な記録として保持・参照することを前提としており、ロボット自身が想起を試みる存在として振る舞い、ユーザと共に想起プロセスに関与する対話構造は実現されていない。

2.2 本稿における共同的記憶想起

Hirst ら [1] は、複数の人々が協力して過去を思い出す共同的記憶想起において、双方が不完全な記憶を持ち、対話を通じて互いに確認・補完しながら記憶を再構成する過程を論じている。

本稿では、共同的記憶想起の本質を対話中にユーザとロボットの双方が過去の対話について想起する現象として捉える。すなわち、以下の2つの要素が対話中に観察されることを共同的記憶想起が生じている状態と位置づける。

- **ユーザ側の想起**：ユーザによる過去の記憶補完の発話が増加する
- **ロボット側の想起**：ロボットが思い出そうとしている存在としてユーザに知覚される

以上の2つの要素を実現するには、ロボットが完全な記憶を持つのではなく、人間と同様に不完全な記憶を持つように振る舞う必要がある。不完全な記憶により、ロボットは確認を伴う発話を生成し、ユーザに記憶の補完を促すことができる。

3 提案手法

TMR (Tracing Memory Robot) は、人間同士に見られる共同的記憶想起対話をロボットとユーザ間で再現する対話システムである。複数回の対話セッションを前提とし、1回のセッションは数十ターン程度の雑談対話を想定する。

TMR は参照可能記憶と共同的想起促進モジュールから構成される (図 1)。事前処理で過去の対話ログを

抽象化し、対話中に想起促進発話を生成しながら記憶を更新する。

大規模言語モデルには GPT-4o¹、対話ロボットには Sota²を使用した。

3.1 参照可能記憶

参照可能記憶は、ロボットが不完全な記憶を持つように振る舞うための記憶表現である。抽象記憶と復元記憶の二層構造により、人間の忘却と想起のプロセスを模倣する。

3.1.1 抽象記憶（事前処理）

抽象記憶は、過去の対話ログから固有名詞や数値などの具体的情報を削除し、話題の概要のみを保持する。例えば「最近の家系ラーメンにハマっていて、ほぼ毎日食べています」という発話は「好きな食べ物について話していたが、具体的な内容は思い出せない」と抽象化される。

抽象化により、ロボットは「前に好きな食べ物の話をしたと思うんだけど、何が好きなんだっけ？」のような確認型の質問を生成できる。具体的情報の欠落により、完全な記憶を前提としない発話が可能となり、ロボットが想起を試みている存在として振る舞うことができる。

3.1.2 復元記憶（オンライン処理）

対話中にユーザが過去の内容に言及した場合、ユーザの発話と過去の完全な対話ログとの意味的一致度を評価する。一致度が閾値以上の場合、発話内容を復元記憶として保存し、参照可能記憶に反映する。復元記憶への保存はロボット側の想起に相当する。

例えば、ロボットの「前に好きな食べ物の話をしたと思うんだけど、何が好きなんだっけ？」に対し、ユーザが「家系ラーメンです」と応答すると、完全なログとの照合により「ユーザは家系ラーメンが好き」が復元記憶として保存される。

抽象記憶と復元記憶の二層構造により、ロボットは想起を試みる存在として振る舞いながらも、ユーザの応答内容を適切に検証し、正確な記憶の復元が可能になる。

3.2 共同的想起促進モジュール（オンライン処理）

共同的想起促進モジュールは、参照可能記憶と現在の対話文脈に基づき、想起促進発話を生成する。ユーザの発話から現在の話題を推定し、関連する抽象記憶を探索する。関連する記憶断片が存在する場合、詳細は覚えていないが話題は記憶しているという形で言語化し、ユーザに想起・補足を促す発話として生成する。

例えば、抽象記憶に「スノーボードに行った話をしていたと思うが、場所や時期は覚えていない」がある場合、「前にスノーボードに行った話をしたと思うんだけど、どこで滑ったんだっけ？」といった発話が生成される。

生成された発話の文脈適応度を評価し、適切な発話のみを採用することで対話の自然な進行を維持する。また、対話の進行に応じて閾値を緩和し、話題転換を適度に挿入することができる。

3.3 システムの動作例

以下に、TMR を用いた対話の具体例を示す。以下の例では、初回対話で「長野県のスキーパークでスノーボードをした」という内容が抽象記憶として「スノーボードに行った話をしていたと思うが、場所や時期は覚えていない」と保存されている。

ユーザ：こんにちは、寒いですねー

ロボット：ほんと寒いねー！温かいものが恋しくなるよね。ところで、前にスノーボードに行った話をしたと思うんだけど、どこで滑ったんだっけ？

ユーザ：あー、長野のスキーパークです

ロボット：あ、そうだった！長野のスキーパークに行ったって言ってたよね。楽しめた？

ロボットが「前にスノーボードに行った話をしたと思うんだけど」と不確実性を含む形で発話することで、ロボット自身も思い出そうとしている存在として振る舞う。ロボットの発話に対し、ユーザも「あー、長野のスキーパークです」と過去の記憶を想起して応答する。その後、「ユーザは長野のスキーパークでスノーボードをした」という情報が復元記憶として参照可能記憶に追加され、ロボット側の想起も成立する。ロボットとユーザの双方が想起プロセスに関与する共同的記憶想起対話が形成される。

対話の進行に伴い、参照可能記憶は変化する。具体的には、ユーザとの対話を通じて復元記憶が追加されることで、ロボットの記憶が徐々に完全な形に近づいていく。初回対話ログを完全な記憶として、各ターンに

¹OpenAI, <https://platform.openai.com/docs/models>

²Vstone Co.,Ltd.,Sota, <https://www.vstone.co.jp/products/sota/>

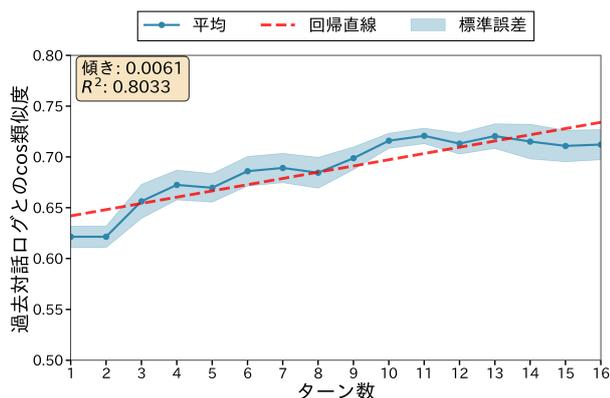


図 2: 参照可能記憶と初回対話ログとの意味的類似度の平均推移

における参照可能記憶との意味的類似度をコサイン類似度で算出すると、図 2 に示すように段階的に上昇する。文埋め込みには text-embedding-3-large を用いる。類似度の上昇は、対話を通じてロボット側の想起が実際に進行することを示している。

4 評価実験

本研究は慶應義塾大学理工学部生命倫理委員会の承認を得た (No. 2025-104)。

4.1 実験設定

想起促進発話生成に参照可能記憶を用いる条件 (TMR) と、過去の対話ログを直接用いる条件 (ベースライン) を設定し、参加者内比較として実験を行った。

日本語母語話者である男性 10 名 (平均年齢 22.0±1.2 歳) が参加した。参加者は机上のロボットと対面し、音声による対話を行った (図 3)。

参加者は同一ロボットと合計 3 回の対話を行った。初回対話として約 10 分間の自己紹介を中心とした雑談を行い、対話ログを記憶構築に用いた。初回対話から時間をおき、久しぶりに再会するという設定で 16 ターンの雑談対話を 2 回行った。両条件を 1 回ずつ実施し、条件順序は参加者間でカウンターバランスを取った。

4.2 評価指標

共同的記憶想起におけるユーザ側の想起とロボット側の想起が実現されているかを検証するため、以下の指標を設定した。



図 3: 実験環境

4.2.1 ユーザ側の想起：過去記憶言及発話

初回対話ログに基づいて確認可能な内容に言及しているユーザ発話を過去記憶言及発話と定義し、各対話における過去記憶言及発話数をユーザ発話総数で割った割合を算出した。判定には、GPT-5.2³を用い、初回対話ログとユーザ発話の意味的一致を評価した後、著者が全件確認し最終判定を行った。

参照可能記憶を用いて、過去の記憶を想起し言及する行動が促進されるかを評価する。

4.2.2 ロボット側の想起：主観評価

各条件の対話終了後に 5 段階リッカート尺度で以下を評価した。

- Q1: ロボットは過去の内容を決めつけずに確認するように話していたか (非断定性)
- Q2: ロボットが過去の対話を思い出そうとして話しているように感じたか (想起主体性)

Q1 は、ロボットの発話が断定的でなく確認を伴うものであったかを評価する。Q2 は、ロボットが想起を試みる存在として知覚されたかを評価する。ユーザの主観評価により、ロボット側の想起が対話中に観察されるかを検証する。

4.3 結果

主観評価および行動指標について Wilcoxon 符号付順位検定を用いた。

³OpenAI, <https://platform.openai.com/docs/models>

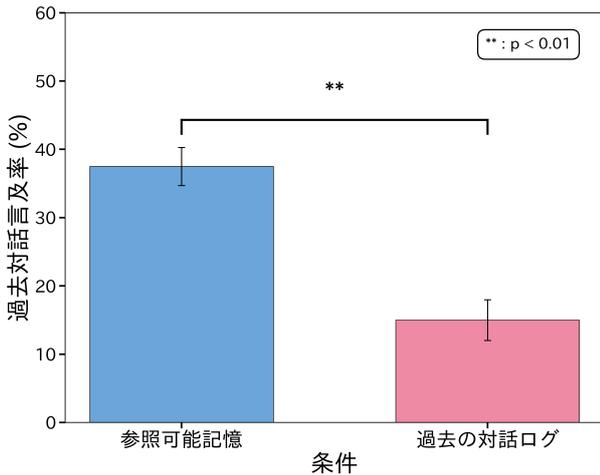


図4: 過去記憶言及発話の割合 (エラーバーは標準誤差)

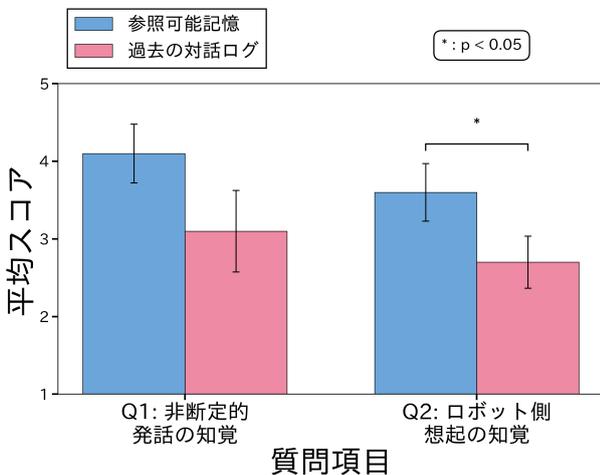


図5: 主観評価 (Q1, Q2) (エラーバーは標準誤差)

4.3.1 ユーザ側の想起：過去記憶言及発話

過去記憶言及発話の割合は、参照可能記憶条件が過去対話ログ条件より有意に高かった ($W = 0.0, p = 0.0020, r = 0.873$)。結果を図4に示す。

4.3.2 ロボット側の想起：主観評価

想起主体性 (Q2) において、参照可能記憶条件が過去対話ログ条件より有意に高かった ($W = 0.0, p = 0.0156, r = 0.90$)。非断定性 (Q1) は有意差が確認されなかった ($W = 5.5, p = 0.4375, r = 0.39$)。結果を図5に示す。

5 考察

5.1 共同的記憶想起対話の再現

評価実験の結果、共同的記憶想起を構成する2つの要素が参照可能記憶を用いることで実現されたことが示された。

ユーザ側の想起：過去記憶言及発話の割合が参照可能記憶条件で有意に高かったことから、ユーザが実際に過去の対話内容を想起し言及する行動が促進されたことが確認された。

ロボット側の想起：想起主体性 (Q2) において参照可能記憶条件が有意に高い評価を得たことから、抽象記憶に基づく想起促進発話により、ロボットが不完全な記憶を持ち想起を試みている存在として知覚されたことが示された。

以上の結果は、人間同士の共同的記憶想起で見られる確認・補完のやり取りという対話パターンがロボットとユーザ間で再現されたことを示している。ロボットが想起を試みる存在として振る舞い、ユーザが記憶を補完するという形で、共同的記憶想起を再現することができた。

5.2 実装アプローチの特徴と限界

想起主体性 (Q2) において有意差が見られた一方で、非断定性 (Q1) については条件間で有意差が確認されなかった。両条件ともに質問形式の発話を生成するため、表層的な発話形式が類似していたことが原因と考えられる。ロボット側の想起の実現には、発話の表層的な形式よりも、抽象記憶という内部状態の設計が重要であることが示唆される。

また、TMR で実現した対話は、主にロボットからユーザという一方向の想起促進に焦点を当てている。Hirstら [1] が示す完全な共同的記憶想起に近づけるためには、以下の拡張が今後の課題として挙げられる。

第一に、ユーザからロボットの方向の実装である。現状ではユーザがロボットに過去の発言を確認する仕組みが不十分であり、双方向性が限定的である。

第二に、記憶の社会的再構成プロセスの実装である。現状では過去ログとの照合による正解確認であり、対話を通じて記憶を協議し合意形成するプロセスは実装されていない。

6 結論

本稿では、人間同士に見られる共同的記憶想起対話をロボットとユーザ間で再現することを目的として、対話システム TMR を提案した。TMR は、過去の対話履

歴を意図的に抽象化して保持し対話を通じて更新される参照可能記憶と、想起促進発話を生成する共同的想起促進モジュールから構成される。

評価実験の結果、共同的記憶想起を構成する2つの要素が実現されたことが示された。参照可能記憶により、ユーザが過去の記憶を想起し言及する行動が促進され（ユーザ側の想起）、ロボットが想起を試みる存在として知覚された（ロボット側の想起）。以上から、TMRを用いて共同的記憶想起が生じる対話を再現できることが示された。

参考文献

- [1] Hirst, William and Echterhoff, Gerald: Remembering in conversations: The social sharing and reshaping of memories, *Annual Review of Psychology*, Vol. 63, No. 1, pp. 55–79 (2012).
- [2] Xiong, Miao, Hu, Zhiyuan, Lu, Xinyang, Li, Yifei, Fu, Jie, He, Junxian, and Hooi, Bryan: Can llms express their uncertainty? an empirical evaluation of confidence elicitation in llms, *arXiv preprint arXiv:2306.13063* (2023).
- [3] Wang, Qingyue, Fu, Yanhe, Cao, Yanan, Wang, Shuai, Tian, Zhiliang, and Ding, Liang: Recursively summarizing enables long-term dialogue memory in large language models, *Neurocomputing*, Vol. 639, pp. 130193 (2025).
- [4] Contreras, Angel Fernando García, Chang, Wen-Yu, Kawano, Seiya, Chen, Yun-Nung, and Yoshino, Koichiro: Improving an Assistive Robot’s Conversations using Large-Language Model-driven Episodic Memory (2025).
- [5] Lighthart, Mike E.U., Neerincx, Mark A., and Hindriks, Koen V.: Memory-Based Personalization for Fostering a Long-Term Child-Robot Relationship, *Proceedings of the 2022 17th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pp. 80–89 (2022).
- [6] Shimoyama, Kaon, Okuoka, Kohei, Kimoto, Mitsuhiro, and Imai, Michita: Conversational Robot System for Travel Memoir Generation, *Journal of Human-Robot Interaction*, Vol. 15, No. 1, Article No. 21, pp. 1–36 (2025).