

仮想世界での日常経験に基づく自己形成型対話エージェント

Conversational agent that grows through daily life in a virtual world

甲斐野史歩^{1*} 大道麻由¹ 宮澤和貴¹ 堀井隆斗^{1,2}

¹ 大阪大学

¹ Osaka University

² 東京大学

² The University of Tokyo

Abstract: Recent advancements in large language models (LLMs) have led to the emergence of various conversational systems. However, these systems struggle to establish long-term relationships with users, partly due to their lack of "daily life." Humans develop individuality through accumulated experiences, but current dialogue systems lack such opportunities, making natural self-formation difficult and affecting the quality of interactions. This study proposes a dialogue agent that lives in a virtual world and forms its identity through experiences. The agent utilizes its virtual experiences in conversations and remembers interactions with users to influence future behavior. User experiments suggest that the proposed system achieves higher likability compared to dialogue systems with backstories generated by LLMs. Future challenges include improving dialogue strategies, enhancing environmental interactions, and refining internal state modeling. Advancing these aspects will contribute to the development of dialogue agents with richer experiences.

1 はじめに

近年、LLMの発展によりさまざまな雑談対話システムが登場している[1][2][3]。しかしこれらのシステムは、一時的な会話相手としては機能するものの、ユーザーとの長期的な会話を実現し、まるで友人や家族のような深い関係性を築くには至っていない。我々人間同士の会話と、人間とLLM等を基盤とした対話システムとの会話の間にこのような差が生じる要因の一つとして、我々人間が営む日々の生活を、対話システムが持っていないことが考えられる。ここで「生活」とは、自身の感覚運動ループと環境からの影響を受けながら実現される行動を通じて世界に働きかけ、また同様に、他者や世界から働きかけられることで積み重ねられる経験の束を指す。人間は日々の生活を通じて様々な経験を獲得し、その経験をもとに自身の個性や人格を形成する。一方で、このような経験の機会を有しない現在の対話システムは、人間のような自然な自己形成が困難であり、その困難さがユーザーとの対話の質に影響を与えると考える。

そこで本研究では、仮想世界で日常生活を営み、自身の経験を通じて自己形成を実現する対話エージェン

トを提案する。提案エージェントは、仮想世界での生活を通じて得られる経験をユーザー対話に活用し、さらにユーザーとの対話を記憶することで将来の意思決定に影響を与える。本稿では提案する対話エージェントの基本構造と被験者実験の結果について報告する。

2 関連研究

2.1 静的なペルソナを持つ対話システム

Zhangらは、対話システムが一貫した人格を維持するため、ペルソナを表す短い文章からなる PERSONA-CHAT データセットを構築し、文脈に関連するペルソナ情報を適宜参照する対話システムを構築した[4]。実験の結果、PERSONA-CHAT データセットで学習した対話システムは、映画のデータセットやTwitterのデータセットで学習した対話システムに比べて、より魅力的な対話が可能であることが示された。

しかしペルソナを事前に定義する方法では、対話を通じてシステムの興味や考えが変化することはなく、長期的な対話においては予測可能性が高まりユーザーの関心が薄れる可能性がある。

*連絡先：大阪大学基礎工学部，大阪府豊中市待兼山町 1-3
E-mail: u809931e@ecs.osaka-u.ac.jp

2.2 動的なペルソナを持つ対話システム

Zhaoらは、検索拡張生成 (Retrieval-Augmented Generation) を用い、ペルソナが変化する対話システムを構築した [5]。このモデルでは、ペルソナ情報のベクトル埋め込みが記憶に蓄積されており、対話時に関連情報を検索し応答文に反映させる。対話が終了すると、対話履歴を参照して対話システム自身のペルソナとユーザーのペルソナを抽出し記憶する。記憶する際に、既存の情報と新たな情報のコサイン類似度が閾値を超えると既存の情報を新たな情報で置き換える。こうすることで、情報の競合を防ぎながら効率的な記憶管理を実現している。

しかしこの手法では、ユーザーからの働きかけのみに影響を受けてペルソナが変化するため、主体性を持たない存在として認識される懸念がある。

2.3 ペルソナとユーザー対話を基にした経験をもつ対話システム

大道らは、対話システムに自身の経験を持たせるために LLM が生成した 1 日の物語をバックストーリーとして与えるシステムを提案している [6]。システムは初期情報として与えられた登場人物の設定と世界観の設定を基に、1 日の物語を LLM によって生成する。ここで、システムは物語の主人公という立場でユーザーと対話し、その対話履歴を参照することで、次の日の物語を生成する。この対話と物語生成の流れを繰り返すことでユーザーの意見を取り入れながら物語を進展させ、それを自身の経験とする。

しかしユーザーとの対話内容を基に物語進行を決定する仕組みは、システムの経験がユーザーの影響を過度に受けることで、主体性を持たない存在として認識される懸念がある。ユーザーに対話システムの主体性を感じさせるためには、ユーザーから切り離された環境において、対話システム自身が独自の経験を収集することが重要である。

3 提案手法

本研究では、人間社会をシミュレートする LLM を用いたマルチエージェントシステムである Generative Agents (以後 GA と呼称) [7] を対話システムの生活環境として活用する。GA では、基本的なペルソナを持った複数のエージェントが仮想的な 2 次元世界で人間の日常生活を模倣する。提案エージェントは、GA の仮想世界で 1 日を過ごし、他のエージェントとの会話や環境との相互作用を通じて自己の経験を得る。夜になると、経験を活用しながらユーザーと対話をする。仮

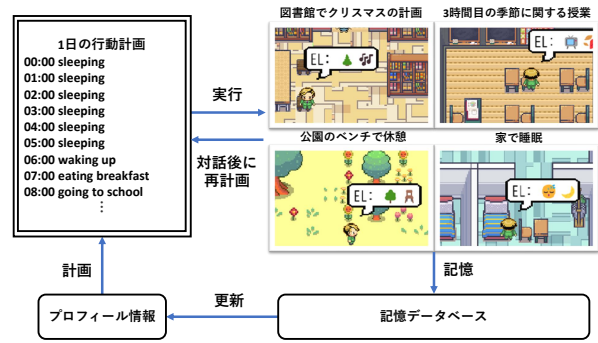


図 1: シミュレーション時の処理フロー

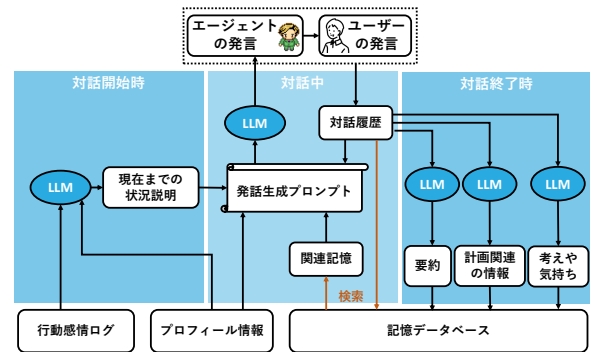


図 2: ユーザー対話時の処理フロー

想世界での日常生活とユーザーとの対話を日々積み重ねることで、エージェントは独自の経験とユーザーと共有可能な経験の双方を利用し、自身の興味や考えを発展させる。

また、GA のエージェントは心身に関わる内部状態 (例えば疲労度や気分など) を持たず、常に明るい一定の調子で会話するなど人間らしさに欠ける部分がある。そこで、本研究では身体的な内部状態として体力値と感情の要素を導入し、これを対話システムの発話に反映させた。

3.1 仮想世界での日常経験

対話エージェントの GA 環境における日常生活の流れを図 1 に示す。GA 内には複数のエージェントが存在するが、各エージェントは初期設定としてそれぞれ異なるプロフィール情報が与えられる。プロフィール情報には、名前や年齢、先天的な性格特性や「サッカーが好き」といった後天的な性格特性、「平日に小学校へ通う」といった生活習慣、最近熱中していること、一日の行動要件が含まれている。なお、一日の行動要件の項目は、シミュレーションの二日目以降に使用される。

GA 環境内での一日が開始すると、各エージェントはプロフィール情報を参照し、一日の行動の大まかな計

画を立て、その後時間単位の詳細な計画を立てる。シミュレーションの時間が進むと、エージェントは時間単位の計画を5分単位の計画へ細分化しながら実行する。例として13時に「カフェでランチを取る」という計画がある場合、その時間単位の計画は、13時に「ホブズカフェに到着」、13時10分に「メニューを確認」、13時15分に「食事を開始」などと詳細な計画として具体化される。エージェントは基本的に自身が立案した計画に基づいて行動するが、他のエージェントを認識すると計画を中断し会話を始めることがある。また、他のエージェントとの会話が終了すると、本来の計画とエージェントとの対話内容に基づいて自身の計画の更新をする。エージェントが知覚した情報や行動内容、他のエージェントとの対話内容は、自身の記憶データベースに保存される。さらに、エージェントが行動するとその内容に応じてエージェントの体力値と感情が変化する。具体的には、行動開始時にその行動内容が体力に与える影響をLLMによって評価し、行動中に評価値に応じて0から100%で表される体力値が変化する。また行動終了時には、現在の体力値と行動内容に加えて、これまでの行動と体力の変化、感情の履歴を参照することで、エージェントの感情状態をLLMの推論に基づいて決定する。

一日が終了すると、記憶データベースを参照してプロフィール情報の最近熱中していることと、一日の行動要件を更新する。新たな一日が始まると再びプロフィール情報を参照して行動計画を行う。

3.2 ユーザーとの対話

ユーザーとの対話時のエージェントの処理の流れを図2に示す。ユーザーからの発言を受け取ることで対話が始まる。まず、対話エージェントのこれまでの行動と感情の履歴に加えてエージェントのプロフィール情報を参照することで、現在までの状況説明文をLLMによって生成する。

次に対話に必要な発話生成プロンプトを作製する。発話生成プロンプトには、先ほど生成した状況説明文と対話エージェントのプロフィール情報に加えて、これまでエージェントが蓄積した関連記憶や対話履歴が含まれている。関連記憶はこれまでの対話履歴のうち、直近4つの発言を検索ワードとして得られる記憶である。このようにして得られるプロンプトをLLMに与えることで、エージェントの発言を生成する。また、ユーザーとエージェントの発言が一定回数に達すると会話が終了する。

対話が終了すると、対話履歴をもとに対話内容の要約を生成する。また、対話エージェントが行動計画を立てる際に必要となる情報を抽出する。さらに、対話

中のエージェントの考えや気持ちを表す文章をLLMによって生成する。これら3つの情報はそれぞれ対話エージェントの記憶データベースに保存される。なお、計画の記憶と考えや気持ちの記憶には、対話の要約の記憶が紐づけられている。

4 実験

4.1 実験設定

本研究では、提案する対話システムの対話における人間らしさを検証するために被験者実験を実施し、アンケートによって特性を評価した。比較対象として静的なペルソナを持つ対話システムと、物語を共有するロボット[6]で使用されていた物語生成システム(以降、物語を共有するロボットと呼称)を利用した。本実験には20代から40代の被験者12名(男性4名、女性8名)が参加した。被験者は4人ずつ3つのグループに割り振られ、それぞれ異なる対話システムを利用して実験を実施した。

実験はWebベースで3日間にわたり実施した。毎日16時以前に対話システムとの対話ツールとアンケートのURLをメールで各被験者に送付し、16時から20時の間にテキストベースの雑談を実施させた後に、アンケートに回答するよう求めた。なお被験者には事前に、雑談内容は自由であること、および3日間の雑談対話の相手は同じ人物であるという設定を伝えた。また、本実験で使用したLLMはgpt-4o-2024-08-06である。

4.1.1 アンケート項目と検定方法

本実験で使用するアンケートは、Godspeed Questionnaire Series[8]、独自の質問項目、自由記述欄から構成される。Godspeed Questionnaire Seriesは、人間のロボットに対する印象を評価するために広く用いられている心理尺度であり、「擬人観」「有生性」「好感度」「知性の有無」「安心感の有無」の5項目を測定する。各項目は3から5つの質問で構成され、回答は5段階のリッカート尺度で評価される。本実験では初日のアンケートにおいて「安心感の有無」を測定する質問の一部が誤って含まれていなかったため、残りの4項目について評価した。また、独自の質問は以下の3つであり、回答は7段階のリッカート尺度で評価される。

- 対話相手に自身の生活や経験があると感じるか
- 対話相手が話す、自分自身の話には信憑性があると感じるか
- 対話相手は前日と比べて自然な変化や成長があると感じるか

実験結果の解析において、Godspeed Questionnaire Series の 4 項目と独自質問の 3 項目の計 7 項目について、各日ごとの評価結果および 3 日間全体の評価結果に対して Kruskal-Wallis 検定を実施し、3 つの対話システム間で有意差が確認された場合には、Dunn 検定を用いてどのシステム間に有意差があるのかを解析した。Dunn 検定には Bonferroni 補正を適用した。

4.1.2 各対話システムの設定

提案する対話システムにおける、GA を用いた仮想世界で生活するエージェントの初期プロフィール設定を図 3 に示す。本実験では、小学 1 年生から小学 5 年生までのエージェント 5 名と、先生エージェント 1 名の計 6 名が仮想世界内に存在する。ユーザーとの対話相手は、小学 2 年生のエージェントに設定した。仮想世界の様子については図 4 に示す。エージェントが通う小学校に加えて、公園や図書館、カフェなどが用意されている。また提案システムでは、仮想世界内の同日 18 時までのシミュレーションが実行される。これにより、ユーザーが 16 時から 20 時に対話をすることで、エージェントとユーザーの時間のずれが 2 時間以内に収まるように調節している。

比較対象である静的なペルソナを持つ対話システムでは、先述の小学 2 年生のエージェントと同じペルソナが設定される。一方で、物語を共有するロボットでは登場人物の設定と世界観の設定が必要となるため、登場人物の設定として先述の 6 名の情報を使用し、主人公は小学 2 年生のエージェントとした。世界観の設定として「5 人の小学生と 1 人の先生が暮らす世界です。小学校があり、そこで 6 人は交流します」という説明を与えた。

4.2 実験結果

4.2.1 アンケートの結果

図 5 に実験結果の一部を示す。このグラフは、各対話システムの評価結果を示したものであり、特に検討すべき結果をまとめている。すべての質問項目とその評価結果は、付録の図 6 を参照されたい。

一部の項目において、提案する対話システムは物語を共有するロボットよりも有意に高い評価を得た。一方で、静的なペルソナを持つ対話システムとの間には有意な差は見られなかった。物語を共有するロボットの評価が低かった要因としては、前日の対話履歴やその要約を参照する仕組みがなかったことがあげられる。また、物語の登場人物にユーザーが含まれてしまい、ユーザーの現実世界での出来事とシステムが語る出来事の整合性が取れなかったことも要因として考えられる。

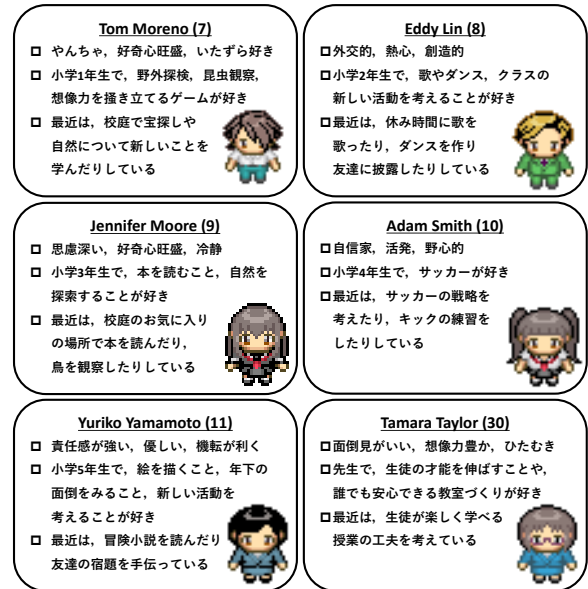


図 3: エージェントの初期プロフィール設定

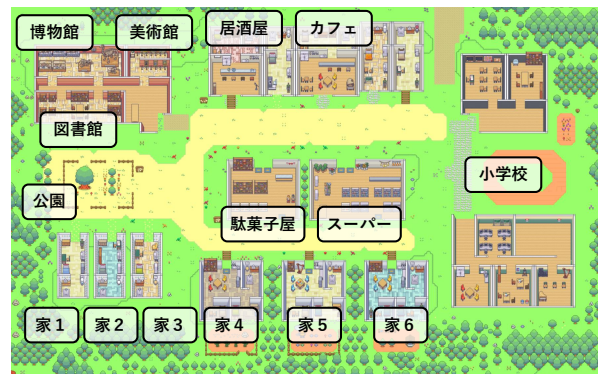


図 4: 仮想世界の設定

また、アンケートの自由記述欄では、3 つのシステムに共通する問題点として、対話が進むにつれてシステムの発言が単調になる傾向が指摘された。これは、LLM の話題転換能力の低さを示唆している。プロンプトで経験やバックストーリーを与えても、話題が停滞した際にそれらを活用して新たな話題を切り出すことはほとんどなく、その結果、静的なペルソナを持つシステムとの差が出にくかったと考えられる。

4.2.2 提案システムの定性的評価

提案する対話システムでは、ユーザーとの対話を通じて仮想世界での出来事を共有する様子や、ユーザーの発言が仮想世界でのエージェントの将来の行動に影響を与えている様子が確認された。例として、第一著者が実施した対話実験の例を示す。この実験では、対話相手のエージェントを小学 1 年生の Tom (図 3) と

した。エージェントのプロフィールには、「昆虫観察が好き」「最近は自然について学んでいる」といった設定が含まれている。ユーザーとの対話において、エージェントは博物館へ行った体験を共有したほか、他のエージェントと共に学校の玄関をクリスマスデコレーションする計画についても話した。その内容は、公園で拾った松ぼっくりや枝を使い昆虫や恐竜をモチーフにしたオーナメントを作るというものであった。実際に、その日の仮想世界では15時にエージェントが博物館を訪れ、他のエージェントと遭遇し、クリスマスデコレーションの企画が生まれる様子が観察された。このように、エージェントは仮想世界において自身の特性や経験をもとに他のエージェントと新たな活動や関係性を生み出し、それらの経験がユーザーとの対話において話題の広がりを生んでいた。この対話履歴を表1に示す。

被験者実験の対話の一例では、ユーザーとエージェントが京都に行く約束をした。すると、エージェントは翌日カフェで友達のエージェントと京都について話す計画を立て、さらにその翌日には京都についてリサーチする計画を立てた。このように、ユーザーとの対話が発端となり、エージェントの行動に影響を与えることが確認された。しかし、エージェントは「京都についてリサーチする」という計画を実行するものの、実際には外部データを検索する機能を持たないため、新たな知識を獲得することはない。環境とのインタラクションを拡張することで、より豊かな経験が得られ対話の発展が期待される。

5 おわりに

本研究では、LLMを基盤としたマルチエージェントシステムを用いて、仮想世界で日常生活を送る対話エージェントを提案した。実験結果から提案システムは、LLMが生成したバックストーリーをもつ対話システムよりも有効であることが示唆された。さらに、エージェントが仮想世界での経験を対話に活用し、ユーザーとの対話内容を仮想世界での行動に反映させる様子が観察された。

今後の課題として、対話システムにおける自然な対話戦略の確立に加え、社会シミュレーションにおける環境とのインタラクションの拡張や正確な内部状態のモデリングなどが挙げられる。これらの課題を解決することで、エージェントにより豊かな経験を与えると共に、対話の質の向上を目指す。

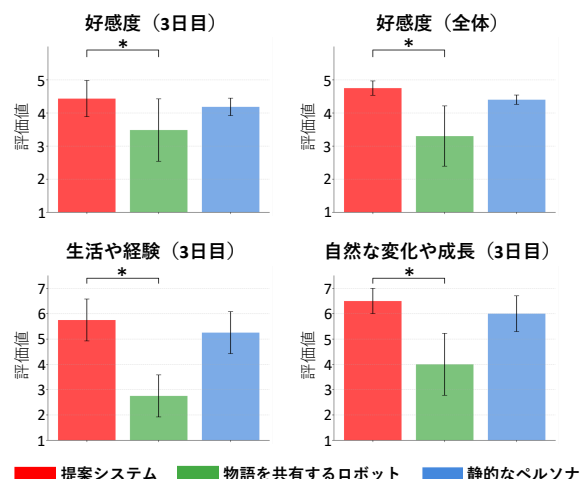


図 5: 各対話システムに対する特定項目の評価結果

表 1: Shiho (筆者) と Tom の会話ログの一部

user:	今日は朝から大学で研究していたんだ！もうそろそろ論文提出しなきゃいけないで大変
sys:	それは大変だと思います。頑張ってください！もしリラックスしたい時があれば、自然について話すのはどうですか？僕たちが最近作ったクリスマスデコレーションにも興味がありますか？
user:	クリスマスデコレーションってなに？気になる！
sys:	僕たちのクリスマスデコレーションは、自然の素材を使って作るんだ。松ぼっくりや枝なんかを集めて、昆虫や恐竜をモチーフにしたユニークな飾りを考えてるんだよ。友達と一緒に作るのがすごく楽しくて、公園で素材を集めてピクニックしながらたくさんアイデアを出し合ったんだ。僕たちはそれを学校の玄関に展示する予定なんだ。Shihoさんも興味があったら、ぜひ一緒に作ってみませんか？
user:	学校の玄関が華やかになりそうだね！私は作れないんだ～
sys:	それでも、もし良かったら、飾りが完成したら見に来てください。自然の素材で作ることで、すごくユニークで楽しい仕上がりになると思うんです。他にも、昆虫や恐竜についても興味があれば、いつでも聞いてくださいね！
user:	恐竜についてどんなことを知ってるの？
sys:	恐竜について知っていることはたくさんあるよ！最近、博物館で壮大な恐竜の化石を見たんだ。それに、Yurikoさんから借りた本で、恐竜がどんな食べ物食べていたり、どうやって生活していたのかを学んでるんだ。自然の中での彼らの生活について考えると、本当にワクワクするんだ。Shihoさんは恐竜についてどんなことが気になりますか？

参考文献

- [1] OpenAI. Chatgpt. <https://openai.com/ja-JP/chatgpt/overview/>.
- [2] Replika. Replika - ai companion. <https://replika.com/>.
- [3] Xiaoice. Xiaoice - ai system. <https://xiaoice.com/>.
- [4] Saizheng Zhang. Personalizing dialogue agents: I have a dog, do you have pets too. *arXiv preprint arXiv:1801.07243*, 2018.
- [5] Kang Zhao, Wei Liu, Jian Luan, Minglei Gao, Li Qian, Hanlin Teng, and Bin Wang. Unimc: A unified framework for long-term memory conversation via relevance representation learning. *arXiv preprint arXiv:2306.10543*, 2023.
- [6] 大道 麻由, 高橋 英之, 伴 碧, 飯尾 尊優, 築 洋平, and 石黒 浩. 物語を共有するロボット. **人工知能学会全国大会論文集**, JSAI2024:1T3OS32a02–1T3OS32a02, 2024.
- [7] Joon Sung Park, Joseph O’Brien, Carrie Jun Cai, Meredith Ringel Morris, Percy Liang, and Michael S Bernstein. Generative agents: Interactive simulacra of human behavior. In *Proceedings of the 36th annual acm symposium on user interface software and technology*, pages 1–22, 2023.
- [8] Christoph Bartneck, Dana Kulić, Elizabeth Croft, and Susana Zoghbi. Measurement instruments for the anthropomorphism, animacy, likeability, perceived intelligence, and perceived safety of robots. *International Journal of Social Robotics*, 1(1):71–81, 2009.

付録

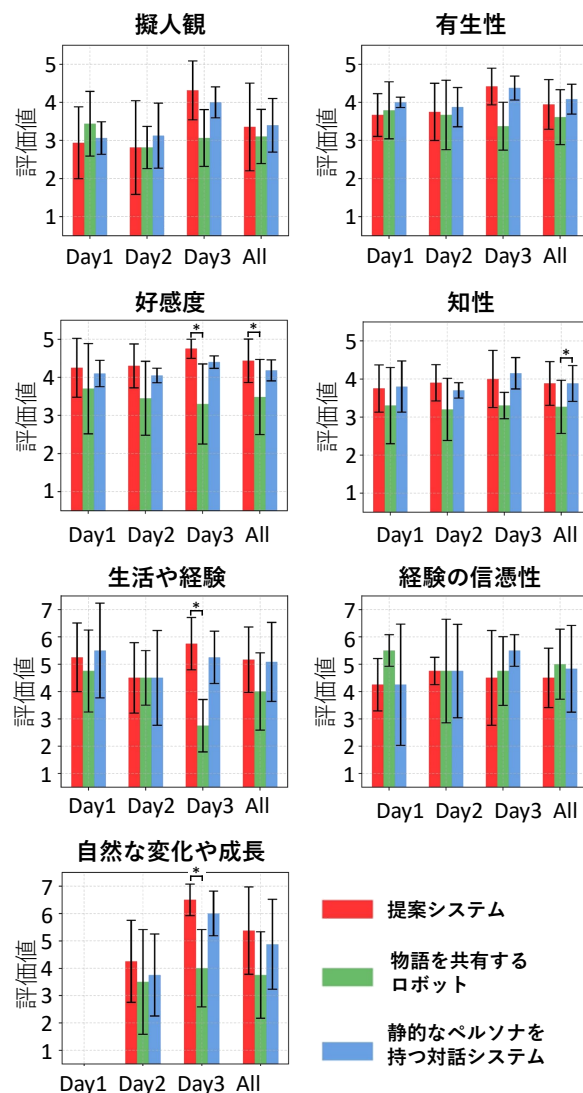


図 6: 各対話システムにおける日毎と全体の平均評価値