

明滅光源を用いた内部状態表出によるロボットとの音声対話の円滑化

小林 一樹[†] 船越孝太郎^{††} 山田 誠二^{†††} 中野 幹生^{††} 北村 泰彦[†]
辻野 広司^{††}

[†] 関西学院大学 〒669-1337 兵庫県三田市学園2-1

^{††} (株)ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン 〒351-0188 埼玉県和光市本町8-1

^{†††} 国立情報学研究所 〒101-8430 東京都千代田区一ツ橋2-1-2

E-mail: †{kby,ykitamura}@kwansei.ac.jp, ††{funakoshi,nakano,tsujino}@jp.honda-ri.com, †††seiiji@nii.ac.jp

あらまし 音声対話エージェントとユーザとの対話において、円滑なコミュニケーションの成立が難しく、ユーザが快適にシステムを利用できない問題がある。この問題に対し、本研究では、エージェントが対話中に明滅光源を用いて内部状態を表出することで、円滑なコミュニケーションの実現する手法を提案する。実験参加者とロボットが簡単な対話（しりとり）を行う実験を実施し、言い直し回数の測定や印象評価を分析したところ、提案手法を支持する結果を得た。

キーワード 音声対話システム、コミュニケーション、話者交代、発話の衝突、subtle expression

Smoothing Human-robot Speech Interaction with Light-blinking Expression

Kazuki KOBAYASHI[†], Kotaro FUNAKOSHI^{††}, Seiji YAMADA^{†††}, Mikio NAKANO^{††}, Yasuhiko
KITAMURA[†], and Hiroshi TSUJINO^{††}

[†] Kwansei Gakuin University 2-1 Gakuen, Sanda, Hyogo, 669-1377, Japan

^{††} Honda Research Institute Japan Co., Ltd. 8-1 Honcho, Wako-shi, Saitama 351-0188, Japan

^{†††} National Institute of Informatics 2-1-2 Hitotsubashi, Chiyoda, Tokyo, 101-8430, Japan

E-mail: †{kby,ykitamura}@kwansei.ac.jp, ††{funakoshi,nakano,tsujino}@jp.honda-ri.com, †††seiiji@nii.ac.jp

Abstract In this paper, we propose a method to realize smooth communication in speech interaction between a user and a robot. Our method is based on subtle expression by a robot that blinks a small LED attached to its chest. In experiments, participants played a last and first game. We analyzed the number of their speech-repairs and impression for communication and the robot, and obtained promising results.

Key words Spoken dialogue system, communication, turn-taking, speech overlap, subtle expression

1. はじめに

音声対話エージェントとユーザとの対話において、円滑なコミュニケーションの成立が難しく、ユーザが快適にシステムを利用できない問題がある。円滑なコミュニケーションが阻害される大きな原因の一つは、話者交代 (turn-taking) の失敗、特にエージェントとユーザが同時に発話してしまう「発話の衝突」である。人間は話者交代に失敗しても巧みに対話を調整することができるが、これには非常に高度な技能が必要なため、対話エージェントでそれを実現することは難しい。また、発話が衝突するとユーザは自身の発話を中断する傾向があるが、中断さ

れた音声を自動認識することは難しく、対話エージェントが適切な応答を行うことはさらに困難である [1]。

エージェントとユーザとの対話において発話が衝突する状況は二つある。一つは、(a) 発話内に休止区間が現れたときに、ユーザがまだ話し続けようとしているにもかかわらず、エージェントがユーザの発話が終了したと誤解して話し始めてしまう状況である。もう一つは、(b) エージェントが話し始めようとしているのにユーザが話し始めてしまう状況である。ユーザが発話を継続するつもりなのにエージェントが発話終了と誤解することを減らすためには、ユーザの発声が止まってからエージェントが話し始めるまでの間隔を長くすればよい。しかし、

そうするとエージェントの応答性が悪くなるために、ユーザの快適性が損なわれてしまう。エージェントに発話権を譲ったつもりであったユーザからみれば、これは話者の不在というもう一つの話者交代の失敗であり、コミュニケーションの円滑さが損なわれていると感じるであろう。また、エージェントからの応答がないためにユーザが発話を繰り返してしまうことによって、上記 (b) の状況を誘発してしまう恐れもある。

(a) の状況を減らすためには、発話内容 (言語情報) をみて発話が終了したかどうかを判断する方法 [2] もあるが、言語情報だけからの正確な判断には限界がある。加えて、音声認識誤りの影響もあるので音声対話においてはさらに難しい。表層情報を用いる場合、特に日本語においては、発話末の表現が重要になるが、発話末は音声のエネルギーが減少することが多いため肝心の部分で誤認識が多発する。言語的な表層情報を用いるのではなく韻律情報を使って発話の終了 / 継続を判定する試み [3] もあるが、韻律情報を安定して取り出すためにある程度の発話長が必要であり、発話が細切れになると対応が難しい。

(b) の状況に対応するためには、人間がするように目線や体の微妙な動きといった様々な仕草によって発話権取得の意思をユーザに伝えることが考えられる。しかし、このアプローチは、ロボットに人間のような繊細で自然な仕草を行わせる技術的な問題と、経済性的問題がある。また、身体的な仕草ではなく音声言語 (主に「えっと」などの間投詞) によって上記の意思を伝えることも考えられる。しかし、何気なく見える間投詞の使用も目線や仕草と同じくらい難しい課題である。間投詞には多くの種類があるがそれらの間には微妙ではあるが確かな違いがあり、それぞれの使用はランダムではなく、適切な使用場面やタイミングが存在する [4]。これらの表現を適切に用いるシステムはユーザに好まれるが [5]、タイミングと場面を間違えた瞬間にそれらを使用しない寡黙なシステムよりもユーザの評価が悪くなる [6]。

本研究では、明滅光源を導入するという単純な方法でこれらの問題にどれだけ寄与できるかを検証する。ある一定以上に人間らしくしようとすると、人間に近づければ近づけるほどかえって違いが際立ち違和感が増大する「不気味の谷」[7] と呼ばれる問題があり、音声対話エージェントに人間らしい仕草や間投詞の使用を取り入れようとする、ユーザに不快感を与える恐れがある。それに対し、人工物を人間らしくする方向とは逆のアプローチ [8] ~ [11] では、人工物特有の表現を積極的に採用しており、その有効性が示されている。このような背景から、人間によって使用の適切性が強く規定されていない明滅光源のような人工物特有の表現であれば、不気味の谷を回避しつつ所望の効果をえられる可能性があり、実装が単純で経済性もよいと考えられる。

本稿では、明滅光源を用いて内部状態を表出する音声対話ロボットを採用し、ユーザとの簡単な対話 (しりとり) を題材とした実験を行う。そしてユーザが言い直した回数や主観評価を通して対話の円滑さを分析する。具体的には、ユーザの発話終了からロボットの発話までの間に光源を明滅させることで、発話衝突の原因となるユーザからの言い直しが減少し、対話に対

する親近性と緊張感が高まることを示す。

以降では、2章で提案手法の基礎となる *subtle expression* について説明したのち、3章で実験方法を、4章で実験結果と考察を述べ、5章で本研究のまとめを行う。

2. Subtle Expression としての明滅光源

人間同士のコミュニケーションにおいては、当然ながら、意味の伝達は発話に代表される言語情報により明示的に行われるが、それ以外の顔の表情、視線、身振りなどの非言語情報の重要性も指摘されている [12], [13]。その効果は、単に感情の伝達などの補助的な意味をもつだけでなく、発話の意味理解に影響を与えることが知られている。例えば、話し手の身振りを見ることが、発話理解の精度に影響を与える報告 [14] がある。

さらに、このような非言語情報の中でも、表情や身振りの非常に些細な変化が人間同士のコミュニケーションにおいて少なからぬ影響を与えていることがわかっており、そのような些細な表出が、*subtle expression* と呼ばれている。この *subtle expression* が人間同士のコミュニケーションにおいて重要であることは、すなわち人間はそのような些細な表出を直観的かつ容易に理解する能力を備えていることを意味し、人間と擬人化エージェントやロボットのコミュニケーションでも *subtle expression* を利用することで、人間に負担をかけずにコミュニケーションを円滑化できる可能性がある。このような考えのもとに、*subtle expression* を HAI に利用することを目指して、いくつかの研究 [15] ~ [17] が行われている。しかし、これらは、エージェントに表情や身振りを実装し、その上に *subtle expression* を実現するため、その実装コストは非常に高い。

エージェント、あるいは広く人工物の *subtle expression* については、小松の研究や山田らの研究がある。周波数が変化するピーブ音 [8] や速度の変化するモニター上の移動物体 [9] により、エージェントの単純な基本的態度の推定を促すことに成功している。また、実際に、外見の異なる2つのロボットに同様のピーブ音を実装したとき、人間がロボットのポジティブ / ネガティブな2つの態度を推定できることを示している [10], [11]。これらの研究は、ユーザによる基本的な態度の推定を促進することに、*subtle expression* のアプローチが有効であることを示唆している。

このような背景から、本研究では、複雑な表情を表出するデバイスではなく、発光ダイオードの明滅という非常に単純な光のシグナルにより、*subtle expression* の考え方を実現し、ユーザに負荷をかけることなく直観的なロボットの内部状態の理解を促すことを目指す。

具体的には、ユーザとロボットとのしりとり対話タスクを用い、話者交代を *subtle expression* により円滑に行うことを目指す。ユーザが、ロボットが音声を聞き取れなかったのか、聞き取ったが処理中なのかの2つの内部状態を容易に区別できれば、発話衝突を回避できるため、円滑な対話が実現できると考えられる。本研究では、明滅光源によりそれらの内部状態を表出し、心理学実験を通してその効果を示す。

3. 実 験

本実験の目的は、subtle expression として明滅光源を導入することで、ロボットとユーザの対話にどのような影響を与えるかを調査することである。ここでは、しりとりを題材とした対話を設定し、対話の円滑さの基準として、実験参加者の言い直し回数、対話の印象、ロボットの印象を調査する。以下では、しりとり対話システム、ロボット、明滅光源の設定を説明し、実験手順について述べる。

3.1 しりとり対話システム

本実験では、音声認識器の誤認識が多発する問題を回避するため、参加者からはロボットが自律的に動作しているように見える WOZ(Wizard-of-OZ) システムを採用した。オペレータはロボットの耳の役割を担い、参加者の回答を図 1 に示すインターフェースを用いて入力する。しりとりの回答はシステムが自動的に選択し、発話を行う。ロボットの音声には市販の音声合成ソフト (NTT-IT FineVoice) を用いた。オペレータは必要に応じて、以下の操作を行う。

a) 参加者の回答をキーボードで入力する

オペレータは、参加者が回答を言い終わったら、直ちにそれを入力する。回答が入力されるとロボットは、その回答がしりとりのルールに違反していないかどうかをチェックする。ルール違反があればその旨を参加者に伝えて、しりとりをはじめからやり直す。ルール違反がなければ自分の次の回答を作成し、発話する。次の回答は、あらかじめ与えた単語辞書の中から選ばれる。

b) ロボットに再発話を指示する

ロボットの発話は音声合成で動的に生成されるため、しばしば聞き取りづらい。参加者がロボットの発話が聞き取れず再発話を要求した際には、オペレータの指示によってロボットは直前の発話を繰り返す。

c) ロボットに聞き返しを指示する

オペレータが参加者の発話を聞き取れない場合もある。オペレータが聞き取れなかった場合にロボットに聞き返しを指示することで、ロボットは「もう一度言ってください」と発話する。

d) ロボットにしりとりのやり直しを指示する

オペレータの操作ミス、参加者の聞き間違いなど様々なトラブルによってしりとり対話が破綻し、中断され得る。そのような場合には、トラブルの原因がどのようなものであっても強制的にしりとりをやり直す。ロボットは「また最初からしりとりをしましょう。あなたからどうぞ」と発話し、参加者にしりとりの再開を促す。

e) 参加者による発話の言い直しを記録する

操作 a) によって参加者の回答が入力されると、ロボットが自身の発話を完了するまで図 1 のシステムは入力を制限し、操作 a) から操作 d) の操作はできなくなる。この間に参加者が発話を言い直したときは、ESC キーを押すことでそれを記録する。

本実験では、観察対象となる現象とそれに対する効果をより明確に確認するために、以下のような調整を行った。

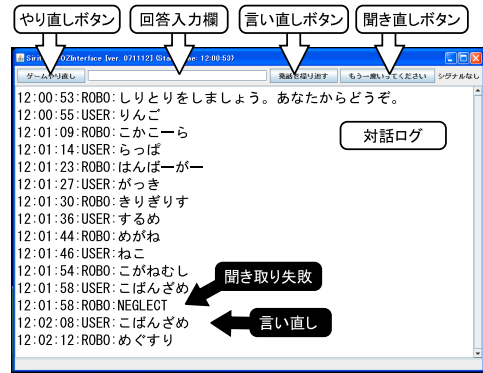


図 1 オペレータ用インターフェース

Fig.1 Operational interface

操作 a) によって参加者の回答が入力されると、ロボットは自分の回答を発話する。しりとりの回答の生成は一瞬で終わってしまうため、このままではロボットの発話が遅れることはない。そこで、回答が入力されてからロボットが発話を行うまでの時間を、発話待機時間を挿入することで、人為的に調整した。発話待機時間は、0 秒から 15 秒までの間で、回答の機会ごとに乱数によって自動で決定した。これは、実際の音声対話エージェントにおいては、内部処理の遅延による応答の遅れに対応する。

また、ロボットは 4 分の 1 の確率で参加者の発話を無視するようにした。これは、実際の音声対話エージェントにおいては、音声認識器が入力音声を誤って雑音と見なし棄却してしまうことに対応する (聞き取り失敗)。さらに、参加者が発話せずに膠着状態になるのを回避するため、ロボットが発話してから 20 秒経過しても参加者が発話しない場合、自動的に直前の発話を繰り返すようにした。

3.2 ロボットと明滅光源の設定

参加者がしりとりを行う対象として、図 2 に示す人間型ロボット RS Media (WowWee 社) を採用した。実験ではロボットは手足を動かさず、静止した状態を維持した。ロボットの胸部には、直径 4mm の赤色発光ダイオードを埋め込んでいる。ダイオードは、オペレータがキーボード入力を開始してからロボットが発話するまで明滅する。つまり、ロボットが返答を生成する内部処理が行われている間、ダイオードが明滅する。聞き取り失敗時はこれに相当しないため、ダイオードは消灯したままである。明滅のパターンは先行研究 [18] を参考にし、情緒的な意味を表出させるために $1/f$ ゆらぎを採用した。明滅は、毎秒 30 回の頻度で -1 から 1 の範囲で $1/f$ 乱数を発生させ、値が 0 以上であれば点灯、0 未満であれば消灯とした。

3.3 参加者

実験への参加者は関西学院大学 理工学部・理工学研究科の 20 歳代の学生 12 名であり、ロボットの振る舞いに応じて、以下の 2 つのグループにランダムに分けられた。

(1) 明滅光源あり条件:

男性 6 名、平均年齢 22.8 歳、標準偏差 1.2 歳。

(2) 明滅光源なし条件:

男性 5 名、女性 1 名。平均年齢 23.8 歳、標準偏差 1.7 歳。

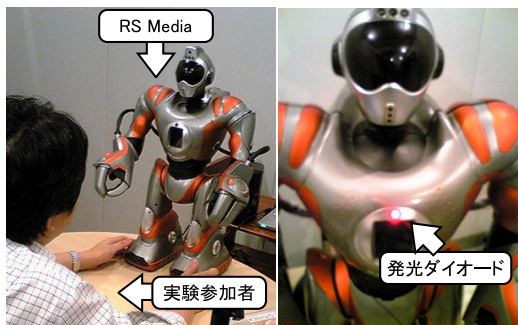


図 2 実験に用いたロボットと発光ダイオードの取り付け位置
Fig. 2 RS Media and the embedded position of the LED

表 1 しりとりルール

Table 1 Rules of the last and first game.

- ・最後に「ん」のつく言葉を書いたら負け。
- ・自分がすでに使った言葉は再度使えない。
- ・濁点・半濁点とはとてもよい(例:ぼ ほ)
- ・長音は削除する(例:コーヒーであれば「ひ」からはじめる)
- ・拗音は最後の文字を使う(例:しゃ や)

3.4 実験手順

実験は周囲から区切られた実験室内で行われた。1回に1名のみが入室し、ロボットとしりとり対話を行う。ロボットは、椅子に座った状態の参加者に対し、机の上に正面を向くように設置された。実験室に案内された参加者は、実験概要を説明されたのち、事前アンケートに回答する。

アンケートに回答後、実験の注意事項が教示される。参加者は、これからロボットと10分程度のしりとりをすることを説明され、できるだけ長く続くようにと指示される。次に、しりとりのルールとして、表1に示すルールが説明され、ルールに迷った場合は気軽に試して構わないことが告げられる。また、ロボットの反応として、ロボットがすぐに返答することもあれば、時間がかかることもあり、聞こえていないこともあると説明される。以上の説明の後、ロボットが話しかけてきたら実験開始の合図だと伝え、参加者を実験室に残して実験者が退出する。実験は10分間継続され、最後にロボットが「これでしりとりを終わります」と告げることで終了する。

参加者はしりとりの後、引き続き実験室にてしりとりに対する印象、ロボットに対する印象、実験中の自分の振る舞いに関する3つのアンケートに回答する。この実験を通し、参加者の言い直し回数、しりとりに対する印象、ロボットに対する印象を調査し、明滅光源がそれらに与える影響を明らかにする。

4. 実験結果と考察

4.1 言い直しの抑制

表2に参加者の発話回数と言い直し回数を示す。ここでは、参加者の言い直しを(1)ロボットが聞き取りに失敗した時のもの(失敗時の言い直し)と、(2)ロボットが聞き取りに成功し、処理を行っている時のもの(処理中の言い直し)に分類した。参加者の発話数に対する、聞き取り失敗時の言い直し回数の比率の差を検定したところ、明滅光源あり条件となし条件間で有

表 2 参加者の発話回数

Table 2 The number of user utterances

条件	内訳	回数	平均	標準偏差
明滅光源あり	参加者の発話	268	44.67	5.50
	失敗時の言い直し	37	6.17	4.83
	処理中の言い直し	1	0.17	0.41
	聞き取り失敗	63	10.50	1.38
明滅光源なし	参加者の発話	263	43.83	12.48
	失敗時の言い直し	20	3.33	3.67
	処理中の言い直し	36	6.00	8.29
	聞き取り失敗	53	8.83	3.54

意な差が認められた($\chi^2 = 4.70, d.f.=1, p < .05$)。また、同様に参加者の発話数に対する、処理中の言い直し回数の比率の差を検定したところ、明滅光源あり条件となし条件間で有意な差が認められた($\chi^2 = 34.28, d.f.=1, p < .01$)。さらに、各条件でロボットが失敗した回数が同等であるか確認するため、参加者の発話数に対する、ロボットが聞き取りに失敗した回数の比率の差を検定したところ、明滅光源あり条件と明滅光源なし条件で差がなく、同等であった($\chi^2 = .69, d.f.=1, p = .41$)。明滅光源あり条件では6名中2名が、明滅光源なし条件では6名中3名が全く言い直しをしなかった。

明滅光源あり条件では、参加者はロボットが聞き取り失敗したときに言い直しを行い、ロボットが処理中の場合には発話しないことが示され、明滅光源の導入によって、発話の重複を抑制できる可能性が示唆された。

4.2 しりとりに対する印象

表3にしりとりに対する印象評価に用いた形容詞対と参加者の評価結果を示す。参加者には、各形容詞対に対し7件法(非常に・かなり・やや・どちらともいえない・やや・かなり・非常に)での評価を求めた。表はポジティブな形容詞の数値が高くなるように反転項目の処理を行ったものである。

これらの評価データを用い、因子分析を行った。表3の項目のうち、標準偏差の低い7項目を削除し、11項目を用いた。バリマックス回転後の各項目の因子負荷量を表4に示す。因子の抽出方法には、重みなし最小二乗法を用いた。スクリープロットを検討した結果、3因子が抽出された。

表4において因子負荷量が.40以上を示した項目の内容を参考に各因子を解釈した。因子Iについては、神田らの研究[19]の因子分析結果における親近性と形容詞対が類似しているため「親近性」とした。因子IIは、岡本らの因子分析結果[20]における対人緊張因子とネガティブな形容詞対が類似しており、緊張のない状態という意味で「弛緩性」とした。因子IIIは、やりとりの快適さに関するものだと考えられるため「快適性」とした。

さらに、Bartlett法によって因子得点を求め、明滅光源あり条件となし条件間で比較を行った。表5に各条件の因子得点の平均と標準偏差を示す。各因子について、それぞれ平均値の差の検定(Mann-Whitney検定)を行ったところ、因子Iで明滅光源あり条件となし条件間で有意な差が認められ

表 3 しりとり印象評価のための形容詞対と評価結果

Table 3 Evaluated adjective pairs for the impression on the game and the results

形容詞対	平均値	標準偏差
明るい 暗い	3.33	1.23
面白い つまらない	5.33	1.37
落ち着いた 落ち着かない	3.42	1.16
わかりやすい わかりにくい	3.92	1.56
安心な 不安な	3.33	1.07
うちとけた かたくるしい	3.08	1.08
元気がでる 疲れる	3.33	1.30
リラックスする 緊張する	2.67	1.30
気軽な 重厚な	3.83	1.27
愉快的な 不愉快的な	3.08	1.24
ゆったりとした せわしない	2.92	1.08
好きな 嫌いな	3.33	1.07
おだやかな いらいらする	2.92	1.00
円滑な ぎこちない	3.42	0.90
暖かい 冷たい	2.83	0.83
感じのよい 感じのわるい	3.33	0.78
得意な 苦手な	3.50	0.67
興味深い 退屈な	2.58	0.67

表 4 しりとり印象評価における因子分析結果

(バリマックス回転後の因子負荷行列)

Table 4 The results of factor analysis for the impression on the game (varimax rotation, factor loading matrix)

項目	因子負荷量			共通性
	因子 I	因子 II	因子 III	
明るい	0.90	0.13	0.12	0.83
面白い	0.77	0.27	0.29	0.75
落ち着いた	0.69	0.48	-0.06	0.71
わかりやすい	0.44	0.34	0.38	0.28
安心な	0.02	0.81	0.52	0.67
うちとけた	0.64	0.69	-0.10	0.90
元気がでる	0.40	0.68	0.21	0.60
リラックスする	0.44	0.48	0.42	0.92
気軽な	0.25	0.42	-0.21	0.59
愉快的な	-0.04	-0.09	0.88	0.46
ゆったりとした	0.29	0.20	0.68	0.79
寄与率 (%)	27.06	22.69	18.41	

表 5 しりとり印象評価における因子得点

Table 5 The factor scores of the impression on the game

因子	人数	明滅光源あり		明滅光源なし	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差
因子 I (親近性)	6	0.49	0.77	-0.49	1.12
因子 II (弛緩性)	6	-0.60	0.53	0.60	1.13
因子 III (快適性)	6	0.42	0.67	-0.42	1.28

($U = 7.00, Z = -1.76, p = .05$), 因子 II で有意傾向が認められた ($U = 6.00, Z = -1.92, p = 0.08$). 因子 III では条件間に差が認められなかった ($U = 10.00, Z = -1.28, p = .20$). これらの結果から, 明滅光源を導入することによって, やりとりに対する親近性と緊張感が高くなることが示唆された.

表 6 参加者が報告したロボットが返答するまでの時間

Table 6 The amount of time that participants reported they spent waiting for the robot's answer

条件	対象	人数	平均 (秒)	標準偏差
明滅光源あり	参加者	6	3.67	2.16
	実際	6	7.90	1.33
明滅光源なし	参加者	6	8.83	3.76
	実際	6	8.25	0.50

表 7 ロボット印象評価のための形容詞対と評価結果

Table 7 Evaluated adjective pairs for the impression on the robot and the results

形容詞対	平均値	標準偏差
気長な 短気な	4.17	1.53
親しみやすい 親しみにくい	3.42	1.24
親切的な 不親切的な	3.08	1.16
ひとつっこい 近づきたい	3.42	1.16
うきうきした 沈んだ	3.50	1.09
積極的な 消極的な	4.33	1.44
意欲的な 無気力な	3.67	1.56
堂々とした 卑屈な	4.92	1.08
自信のある 自信のない	5.00	1.13
慎重な 軽率な	5.17	1.34
社交的な 非社交的な	3.75	1.29
なまいきな なまいきでない	3.42	1.00
責任感のある 責任感のない	4.08	1.00
重厚な 軽薄な	4.58	0.90
恥ずかしがりの 恥しらずの	3.50	0.80
感じのよい 感じのわるい	3.50	0.80
人のわるい 人のよい	3.58	0.79
分別のある 無分別な	4.08	0.79
心のひろい 心のせまい	3.50	0.67
かわいらしい にくらしい	3.58	0.67

実験後のアンケートでは、「ロボットは平均すると何秒くらいで返事を返してきたと思いますか」という質問を行った。表 6 に, 参加者が報告したロボットが返答に要した時間の平均と標準偏差を示す。明滅光源あり条件となし条件で, 平均値の差の検定 (Mann-Whitney 検定) を行ったところ, 有意差が認められた ($U = 3.00, Z = -2.423, p < .05$)。この結果から, 明滅光源の導入によって, ユーザが感じる待ち時間が実際よりも短くなる可能性が示された。

4.3 ロボットに対する印象

表 7 にロボットに対する印象評価に用いた形容詞対と参加者の評価結果を示す。参加者には, 各形容詞対はしりとりに対する印象評価と同様に, 7 件法による評価を求めた。表はポジティブな形容詞の数値が高くなるように反転項目の処理を行ったものである。

これらの評価データを用い, 因子分析を行った。表 7 の項目のうち, 標準偏差の低い 9 項目を削除し, 11 項目を用いた。バリマックス回転後の各項目の因子負荷量を表 8 に示す。因子の抽出方法には, 重みなし最小二乗法を用いた。スクリープロットを検討した結果, 3 因子が抽出された。

表 8 ロボット印象評価における因子分析結果
(バリマックス回転後の因子負荷行列)

Table 8 The results of factor analysis for the impression on the robot (varimax rotation, factor loading matrix)

項目	因子負荷量			共通性
	因子 I	因子 II	因子 III	
気長な	0.95	-0.32	-0.07	1.00
親しみやすい	0.79	0.27	0.28	0.78
親切な	0.73	-0.05	0.19	0.58
ひとなつっこい	0.26	0.74	-0.10	0.63
うきうきした	-0.38	0.65	0.08	0.58
積極的な	0.04	0.44	0.31	0.29
意欲的な	0.30	-0.20	0.78	0.74
堂々とした	0.22	-0.05	0.78	0.66
自信のある	-0.58	0.15	0.62	0.74
慎重な	0.28	-0.92	0.13	0.95
社交的な	0.07	-0.13	-0.64	0.43
寄与率 (%)	25.86	20.77	20.46	

表 9 ロボット印象評価における因子得点

Table 9 The factor scores of the impression on the robot

因子	人数	明滅光源あり		明滅光源なし	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差
因子 I (親和性)	6	-0.07	0.83	0.07	1.23
因子 II (明朗性)	6	0.14	1.36	-0.14	0.66
因子 III (活動性)	6	0.00	1.29	0.00	0.91

因子 I は、親しみやすさに関するものだと考えられるため「親和性」とした。因子 II は、性格的な明るさに関するものだと考えられるため「明朗性」とした。因子 III は、活発さに関するものだと考えられるため「活動性」とした。

さらに、Bartlett 法によって因子得点を求め、明滅光源あり条件となし条件間で比較を行った。表 9 に各条件の因子得点の平均と標準偏差を示す。各因子について、それぞれ平均値の差の検定 (Mann-Whitney 検定) を行ったところ、有意な差は認められなかった (因子 I: $U = 16.00$, $Z = -0.32$, $p = 0.75$, 因子 II: $U = 15.00$, $Z = -0.48$, $p = 0.63$, 因子 III: $U = 18.00$, $Z = 0.00$, $p = 1.00$)。これらの結果から、明滅光源の導入はロボットの印象に影響を与えないことが示唆された。

5. まとめ

本研究では、ロボットが対話中に明滅光源を用いて内部状態を表出することで、円滑なコミュニケーションを実現する手法を提案した。参加者実験では、しりとり対話において、実験参加者の言い直し回数と対話の印象、ロボットの印象を調査した。実験の結果、明滅光源の導入によって、ユーザの言い直しが抑制され、対話に対する親近性と緊張感が高まることが示唆された。また、明滅光源を導入した方が、ロボットが返答するまでの時間が参加者にとって短く感じられることが明らかになった。これらの結果から、提案手法である明滅光源による内部状態表出手法を導入することで、人間とロボットの対話を円滑にし、やりとりに対する親近性を向上させる効果があることが示唆さ

れた。ここでの実験は参加者数が少なく予備的なものであるため、今後、多くの参加者を対象に調査を実施する必要がある。

文 献

- [1] M. Nakano, Y. Nagano, K. Funakoshi, T. Ito, K. Araki, Y. Hasegawa and H. Tsujino: "Analysis of user reactions to turn-taking failures in spoken dialogue systems", Proceedings of 8th SIGdial Workshop on Discourse and Dialogue (2007).
- [2] L. Bell, J. Boye and J. Gustafson: "Real-time handling of fragmented utterances", Proceedings of NAACL-2001 workshop on Adaptation in Dialogue Systems (2001).
- [3] 大須賀, 堀内, 西田, 市川: "音声対話での話者交代 / 継続の予測における韻律情報の有効性", 人工知能学会論文誌, **21**, 1 (2006).
- [4] W. Tsukahara and N. Ward: "Evaluating responsiveness in spoken dialog systems", Proceedings of International Conference on Spoken Language Processing (2000).
- [5] N. Ward: "On the expressive competencies needed for responsive systems", Proceedings of the CHI2003 workshop on Subtle Expressivity for Characters and Robots (2003).
- [6] N. Kitaoka, M. Takeuchi, R. Nishimura and S. Nakagawa: "Response timing detection using prosodic and linguistic information for human-friendly spoken dialog systems", Journal of The Japanese Society for Artificial Intelligence, **20**, 3, pp. 220-228 (2005).
- [7] 森: "不気味の谷", Energy, **7**, 4, pp. 33-35 (1970).
- [8] 小松, 長崎: "ピーブ音からコンピュータの態度が推定できるのか? - 韻律情報の変動が情報発信者の態度推定に与える影響", ヒューマンインタフェース学会論文誌, **7**, 1, pp. 19-26 (2005).
- [9] 小松: "視覚的な subtle expressions からのコンピュータの態度推定", ヒューマンインタフェース学会論文誌, **8**, 1, pp. 167-175 (2006).
- [10] S. Yamada and T. Komatsu: "Designing simple and effective expression of robot's primitive minds to a human", Proceedings of 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2614-2619 (2006).
- [11] T. Komatsu and S. Yamada: "How do robotic agents' appearances affect people's interpretations of the agents' attitudes?", Proceedings of CHI-2007, pp. 2519-2524 (2007).
- [12] A. Kendon: "Do gestures communicate?", A Review. Research in Language and Social Interaction, **27**, 3, pp. 175-200 (1994).
- [13] A. Kendon: "Some functions of gaze direction in social interaction", Acta Psychologica, **26**, pp. 1-47 (1967).
- [14] W. Rogers: "The contribution of kinesic illustrators towards the comprehension of verbal behavior within utterances", Human Communication Research, **5**, pp. 54-62 (1978).
- [15] C. Bartneck and J. Reichenbach: "Subtle emotional expressions of synthetic characters", International Journal of Human-Computer Studies, **62**, 2, pp. 179-192 (2005).
- [16] S. Brave, C. Nass and K. Hutchinson: "Computers that care: investigating the effects of orientation of emotion exhibited by an embodied computer agent", International Journal of Human-Computer Studies, **62**, 2, pp. 161-178 (2005).
- [17] H. Prendinger, J. Mori and M. Ishizuka: "Using human physiology to evaluate subtle expressivity of a virtual quizmaster in a mathematical game", International Journal of Human-Computer Studies, **62**, 2, pp. 231-245 (2005).
- [18] 細見, 内田, 塚本, 西尾: "ウェアラブルファッションのための明滅光源の感性評価", ヒューマンインタフェース学会論文誌, **9**, 3, pp. 297-304 (2007).
- [19] 神田, 石黒, 石田: "人間-ロボット間相互作用にかかわる心理学的評価", 日本ロボット学会誌, **19**, 3, pp. 362-371 (2001).
- [20] 岡本, 高橋: "親密度の違いおよびコミュニケーション形態の違いがメディア・コミュニケーション観に及ぼす影響", 実験社会心理学研究, **45**, 2, pp. 85-97 (2006).