対話の低速化と Artificial Subtle Expression による発話衝突の抑制

Reducing Speech Collisions by Using an Artificial Subtle Expression in a Decelerated Human-Robot Spoken Dialogue

船越 孝太郎
Kotaro Funakoshi

(株) ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン
Honda Research Institute Japan Co., Ltd.
funakoshi@jp.honda-ri.com, <http://www.jp.honda-ri.com/>

小林 一樹
Kazuki Kobayashi

信州大学大学院工学系研究科
Graduate School of Science and Technology, Shinshu University
kby@shinshu-u.ac.jp, <http://www.cs.shinshu-u.ac.jp/~kkobayashi/>

中野 幹生
Mikio Nakano

(株) ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン
Honda Research Institute Japan Co., Ltd.
nakano@jp.honda-ri.com, <http://www.jp.honda-ri.com/>

小松 孝徳
Takanori Komatsu

信州大学 ファイバーナノテク国際若手研究者育成拠点
International Young Researcher Empowerment Center, Shinshu University
tkomat@shinshu-u.ac.jp, <http://www.tkomat-lab.com/>

山田 誠二
Seiji Yamada

国立情報学研究所 / 総合研究大学院大学 / 東京工業大学
National Institute of Informatics / The Graduate University for Advanced Studies / Tokyo Institute of Technology
seiji@nii.ac.jp, <http://ymd.ex.nii.ac.jp/lab/seiji/>

keywords: turn-taking, response timing, spoken dialogue systems, human robot interaction, non-verbal communication

Summary

We argue that task-oriented spoken dialogue systems or communication robots do not need to quickly respond verbally as long as they quickly respond non-verbally by showing their internal states by using an artificial subtle expression. This paper describes an experiment whose results support this point. In this experiment, 48 participants engaged in reservation tasks with a spoken dialogue system coupled with an interface robot using a blinking light expression. The blinking light expression is designed as an artificial subtle expression to intuitively notify a user about a robot's internal states (such as processing) for the sake of reducing speech collisions as consequences of turn-taking failures due to end-of-turn misdetection. Speech collisions harm smooth speech communication and degrade system usability. Two experimental factors were setup: the blinking light factor (with or without a blinking light) and the reply speed factor (moderate or slow reply speed), resulting in four experimental conditions. The results suggest that both the slow reply speed and the blinking light expression can reduce speech collisions, and improve a user's impression. Meanwhile, contrary to expectation, no degradation of evaluation due to the slow reply speed was found.

1. はじめに

話者交替 (turn-taking) の失敗, 特に対話する 2 者が同時に発話してしまう「発話衝突」は, 対話エージェントとユーザとの間の円滑なコミュニケーションを阻害する大きな要因の 1 つである。発話衝突が起きるとユーザは自身の発話を中断する傾向があるが, 中断された音声を手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えなくなる [Nakano 07]。接話型マイクを使わない場合でも, 音源分離技術 [中臺 03, 澤田 03] を用いれば発話衝突時の音声認識性能を高めることは可能であるが, 中断された音声の認識を容易にするものではないので, 音源分離ができれば発話衝突による問題が無くなるわけではない。また, 対話の状態も不確定な状態となる (例え

ば次に話し始めるべきなのはどちらなのかははっきりしなくなる) ため, その後の対話管理に支障を来す。発話衝突による印象の悪化も懸念される。Hirasawa ら [Hirasawa 99] は会議室の空き状況を調べるための音声対話システムにおいて, システムによる即時的な応答がユーザの印象を悪化させることがあることを報告している。

人間同士の会話では, 発話の重複・衝突は頻繁に起きる [Hayashi 88, 榎本 99, 都 09]。一方, 巧みな調整によって対話が破綻することなく再開される。このような巧みな調整を音声対話システムで実現することはまだ困難である。本研究の背景となる我々の目標は, 実利的な有用性が最重要となる課題指向音声対話システムの実用化であるが, その目標を達成するにあたって, 人の様に巧みな対話調整能力の実現は必ずしも必要ではないと考える。

対話の自然さを高めシステムの親和性を増すためには、発話が重なった方がよいという知見 [西村 09] もあるが、あくまで有用性を最大化しつつ、システムの構成を最大限単純化・簡素化できるインタラクションのデザインが我々の狙いである。システム構成の簡素化は、開発・保守のコストを低減し、汎用性を高めることに繋がる。

発話衝突の原因の 1 つは、対話エージェントがユーザの発話末を誤検出することである。これに対する 1 つのアプローチは、機械学習によりマルチモーダル情報を利用した高精度な発話末検出器を構成しようとするものである。もう 1 つのアプローチは、ユーザの音声信号が途絶えてからシステムが応答するまでの時間を単に長くするというものである。ある程度の間待っても次の音声がないければ、ユーザの発話は終了したと解釈できる。

対話の自然さや効率性を追求するために、従来研究は 1 つ目のアプローチを選んでいる (例えば, [Bell 01, Kitaoka 05, 大須賀 06, Raux 08])。しかしながら、課題指向の音声対話システムのデザインにおいて、人間らしい自然な発話のタイミングや話者交替の効率性がユーザにとってどの程度重要な要素であるのかは、まだ明らかにされていない。一方、2 つ目のアプローチは単純なので、対話システムの構築も容易であるし、構築したシステムはユーザや環境の変化に対して安定した振る舞いを示す。さらに、このアプローチでは応答までに余裕があるので、より計算量のかかる音声処理を導入したり、資源の限られた小さなデバイスの上にシステム導入することができる。そこで我々は 2 つ目のアプローチ、つまり対話を「低速化」するアプローチの可能性を追求している。

この「低速化」アプローチには、付随してもう 1 つの問題が存在する。それは、システムの応答が遅いことでユーザが繰り返しや言い換えといった不必要な発話をしてしまい、それが原因で発話衝突が起きるという問題である。発話衝突を減らそうとして別の形で発話衝突を増やしてしまえば意味がない。また、対話を低速化したシステムの発話と衝突したユーザの発話があったとき、それが無視可能なただの繰り返しや言い換えであるのか、訂正や補足などの意図でなされた無視できないバグイン発話 (割り込み発話) であるのかを区別することは容易でないため、音源分離によってバグイン発話の認識率を高める [武田 09] だけでは十分でなくなる。

これに対し船越らは、明滅光源による非言語フィードバックを用いることで、発話衝突の原因となるユーザの不必要な繰り返し発話を抑制できる可能性を実験的に示した [船越 09]。しかしながら、その実験は人間のオペレータがユーザに隠れてシステムを操作する Wizard-of-Oz (WOZ) 方式でのしりとり対話という、あまり実際的でない状況での実験であった。そして、明滅光源により発話衝突の誘因となる繰り返し発話を抑制できることは示したが、実際に発話衝突が減ることを示していない。また、明滅光源の導入によりシステムの印象が改善される

ことを示したが、低速化による印象の悪化がどの程度のものであり、それが明滅光源によりどれくらい補償されているのかまでは示していない。

本論文では、以上の問題点を踏まえて行った実験の結果を示す。実験の主たる目的は、明滅光源の導入により音声対話を阻害する発話衝突を抑制できることを、より実際の音声対話において示すことである。これに加えて、対話の低速化と明滅光源がユーザの評価に与える影響を明らかにする。実験では、明滅光源を備えたインタフェースロボットと連結された音声対話システムとのホテル予約課題に 48 人の参加者が取り組んだ。実験で用いた明滅光源は次節で述べるように Artificial Subtle Expression (ASE) の考えに基づいており、システムの内部状態 (処理中かどうか) をユーザに直感的に伝える。実験要因として、応答速度要因 (中速 / 低速) と明滅光源要因 (あり / なし) の 2 つの要因を設定した。実験の結果、対話の低速化と明滅光源の導入は共に発話衝突の抑制に有効であることが示された。また、明滅光源の導入により、ユーザが抱く印象が改善する傾向が認められた。一方、予想に反して、対話の低速化による評価の悪化は認められなかった。これらのことから、対話の低速化は、音声対話システム設計に関する有効なアプローチであると我々は考える。

2. ASE としての明滅光源

人間同士のコミュニケーションでは、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 [Kendon 67, Kendon 94]。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は、発話理解の精度に影響を与える [Rogers 78]。

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、すなわち人間が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、いくつかの研究が行われている [Bartneck 05, Prendinger 05]。しかし、これらはエージェントに表情や身振りを持たせ、その上に subtle expression を実現するため、実装コストが非常に高い。

エージェント、あるいは広く人工物の subtle expression

については、山田、小松の研究がある [Yamada 06]。山田らは周波数が変化するピープ音などにより、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プ音を実装したとき、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。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、人間的な表現によらずとも subtle expression が有効であることを示唆している。小松らは、同じくピープ音を用いて、ロボットがユーザに与えるアドバイスに対してロボット自身が抱く確信度を伝達できることを示すとともに、人工物らしい表現方法を活用した subtle expression という概念を、Artificial Subtle Expression (ASE) として提案している [小松 10]。その定義によれば ASE は以下の4つの条件を満たす内部状態表現である。

シンプル: ASE は単一のモダリティで構成される。このことにより、実装に要する労力やコストが非常に低くなると期待される。

補完的: ASE はエージェントとユーザとのインタラクションにおいて、あくまで補完的な役割をするものであり、インタラクションにおける主たるプロトコルを阻害しない。つまり、インタラクションの文脈と切り離れた ASE 自体には特定の意味は存在しない。

直感的: ASE に関する事前知識が無くとも、ASE の伝達内容を解釈できる。

正確: 設計者の意図した特定の意味をユーザに伝えることができる。ASE がユーザに伝達する情報は、先にも述べたようにエージェントの内部状態である。

ASE の考えに基づき、船越らはロボットの内部状態（処理中かどうか）をユーザに直感的に伝える ASE として明滅光源を採用し、明滅光源が教示無しでも直ぐに設計者の意図通りの意味に解釈されること、明滅光源が発話衝突を抑制できる可能性を示した [船越 09]。しかしながら、あくまで WOZ によるしりとり対話という限定された状況で繰り返しの数が減ることを通じて間接的に示しただけであり、発話衝突が実際に減ることを確認したわけではなかった。本論文では、課題指向対話を行う全自動の音声対話システムを用いて、発話衝突の抑制に ASE としての明滅光源が有効であることを直接的に示す。

3. 実験

会話ロボットと対話してホテルの予約をするという課題設定で実験を行った。音声対話システム、ロボット、明滅光源、実験条件及び手法について以下で説明する。

図1 液晶モニタとロボット

3.1 音声対話システム

ホテル予約ドメインで動作する音声対話システムを構築した。対話システムは予約内容を表示する液晶モニタと胸部に発光ダイオードを備えたインタフェースロボットを備えている（図1参照）。参加者の発話の音声認識には Julius^{*1}を用い、ロボットの発声には市販の音声合成ソフト（NTT-IT FineVoice [Takano 01]）を用いた。ユーザ発話の言語理解には既存の手法 [船越 08] を用いた。液晶モニタはシステムが予約の詳細を読み上げる時間を短くして、システムの発話を聞き取る際の参加者の認知的負荷を軽減する目的で使用した。従って、システムがユーザに予約内容の確認を求める時にだけ詳細をモニタ上に表示し、それ以外の場合は最初に歓迎メッセージを表示する他は何も表示しない。

システムの音声言語理解の能力は可能な限り高くなるように事前に調整した。例えば、Julius が使用する言語モデルと辞書は、事前に同様の課題で収集したデータ（47人からの4223発話、140分）から作成した^{*2}。

Julius の各種パラメータの値にはデフォルトの値を使用した。Julius は、入力音声信号の消失を検出してから400ミリ秒（音声区間終端検出マージンとよぶ）後に、認識結果の単語列を対話システムに出力する。我々が構築した対話システムは Julius からの入力を受け取った後、さらに α ミリ秒の間入力を待ち受ける。この入力音声の消失検出から待ち受け終了までの時間の長さ（ $400 + \alpha$ ミリ秒）は実験要因の1つであり、以降「待機時間」とよぶ。もしこの待機時間の間に更なる入力を受け取ったときは、システムは同じ長さの時間だけ待機する。この待機時間のうちに入力を受け取らなかった場合は、システムは全ての認識結果の単語列を受け取った順に連結し、それに対して解釈を行い、応答する。

3.2 ロボットと明滅光源

ロボット（WowWee RS-Media）と明滅光源（赤色・直径4ミリの発光ダイオード）は、[船越 09] と同じものを用いた。明滅パターンも同じである（1/30秒の等間隔での明滅）。システムは音声信号を検出すると発光ダイオード

*1 <http://julius.sourceforge.jp/>

*2 実験後に音声認識率を測定したところ、かな文字列レベルの正解精度は48人の平均で78.2%であった。

ドの明滅を始め、応答を開始した時点で明滅を止める。

明滅光源の基本的な機能は GUI で用いられる砂時計アイコンのそれに近い。但し、大きな違いは、GUI では砂時計アイコンを表示している間に来る全ての入力を無視すればよいが、対話システムではダイオードを明滅させている間に来る音声も受け入れなければならないことである。我々が明滅光源を用いて行おうとしていることは、待機時間において、発話衝突の原因となる繰り返しや言い換えのような発話（以降「補足発話」とよぶ）だけを抑制することである。補足発話は殆どの場合無視して問題ないのだが、実際に発話衝突が起きた時には意図的なバージン発話（割り込み発話）と区別することが難しい。一方、対話システムはバージン発話を無視できない。そこで、不必要な補足発話だけを抑制する。

3.3 実験条件と参加者

実験要因として、応答速度要因（中速 / 低速）と明滅光源要因（あり / なし）の 2 つの要因を設定した。これらを組み合わせると、次の 4 つの実験条件になる。

条件 A: 低速、明滅光源あり

条件 B: 低速、明滅光源なし

条件 C: 中速、明滅光源あり

条件 D: 中速、明滅光源なし

48 人の実験参加者を 4 つの実験条件にランダムに振り分けた。但し、性別と年代は条件間でなるべく均等に分布するようにした。参加者の年齢は 18 歳から 55 歳で、平均年齢は 30.9 歳 ($SD = 10.2$) であった。参加者が実験前に回答したプロフィール情報によると、全員が日常的にパソコンを利用したり携帯でインターネットにアクセスしており、それらに対する顕著な経験・技能の差は見られなかった。

応答速度（ユーザの発話が終了してからロボットが発話するまでの時間）は前述の待機時間（入力音声が入力された後に対話システムが後続発話を待ち受ける時間）に依存する。Shiwa らが行った実験では、会話ロボットの最適な応答タイミングは発話終了直後ではなく約 1 秒後であるという結果が得られている [Shiwa 08]。そこで、実際の応答までには処理のための遅延が加わるため、中速条件での待機時間として 800 ミリ秒 ($\alpha = 400$) を設定した。また、低速条件での待機時間として 4000 ミリ秒 ($\alpha = 3600$) を設定した。このように 2 つの応答速度を設定することで、対話の低速化が実際に発話衝突の抑制に有効であることを示すと共に、低速化による印象の悪化がどれほどのものであるのかを調べる。

図 2 に、システムと明滅光源がユーザ発話に沿ってどのように振る舞うのかを示す。この図では、ユーザは音声区間検出終端マージンよりも長い休止を 1 度挟んで、一続きの発話を行っている。図中に X で示した区間の中でシステムがユーザのターン末を認識して応答した場合、

表 1 平均課題達成数

応答速度	低速		中速	
明滅光源	あり	なし	あり	なし
条件 ID	A	B	C	D
平均	4.00	3.83	3.83	4.33
標準偏差	1.28	1.34	1.27	0.98

発話衝突が起こる可能性がある。また、図中に Y で示した区間でユーザが補足発話を行うと、同じく発話衝突が起こる可能性がある。本研究では、前者を対話の低速化で、後者を明滅光源によって抑制することを試みる。

3.4 手 法

実験は 1 人ずつ静かな部屋の中で行った。参加者は部屋に入ると図 1 に示すように机の前の椅子に座る。椅子は動かないように固定した。システムの音声と参加者の音声を分離して収録するため、参加者にはヘッドフォンを着用させた。

実験者は参加者に目の前のロボットと話をしてホテルの部屋を予約するように指示した。参加者には全員同じ課題 5 つを同じ順序で与えた。各課題では参加者は 1 つから 3 つの種類の部屋を予約する。1 つずつ予約するか一度に予約するかは参加者の自由であるので教示しない。明滅光源の存在と意味は参加者には説明しない。指示を与えた後に実験者は参加者を残して退去し、対話システムを始動させた。参加者はロボットからの話しかけによって予約対話を始める。各課題は最大 3 分間に制限し、制限時間内に課題が完了しなかった場合は実験者が対話を中断した。参加者は 5 つの課題に休憩無しで取り組んだ。5 つの課題の教示を付録 A に示す。また、実際に観察された対話の例を図 3 に示す。

課題終了後、参加者は対話とロボットそれぞれの印象とその他の質問についてのアンケートに答え、実験参加に対する謝礼を受け取って退室した。

4. 結 果

4.1 課題達成数

A, B, C, D の各条件での平均課題達成数を表 1 に示す。これら 4 条件間で課題達成数に関する 2 要因 2 水準の分散分析を行った。応答速度要因と明滅光源要因の間に交互作用は認められなかった ($F_{1,44} = 0.88, p = 0.35$)。応答速度要因の主効果に有意差は認められず ($F_{1,44} = 0.22, p = 0.64$)、明滅光源要因の主効果にも有意差は認められなかった ($F_{1,44} = 0.22, p = 0.64$)。

4.2 発 話 衝 突

先に述べたように、繰り返し、言い換えなど、発話衝突の原因となる発話を補足発話とよぶ。[船越 09] では特に繰り返しの数を数えて分析を行っているが、それは参

図2 時間軸に沿った対話システムの振る舞い

表2 参加者毎の発話衝突の回数と条件毎の平均値（被験者間配置）

条件			参加者毎の衝突回数												計	平均 (標準偏差)
応答速度	明滅光源	条件 ID	(48 人の参加者は全員異なる． 空欄は 0 回の意味)													
低速	あり	A		1	2						2				5	0.42 (0.63)
	なし	B	1			3		1		2	1	1	1	1	11	0.92 (0.81)
中速	あり	C	2	5			5	6	3	3	1	14	5	1	45	3.75 (14.75)
	なし	D	7		2		6	6		2		5		2	30	2.50 (7.55)

S: ようこそ若松河田ホテルへ．ご予約を承ります
 U: 3 月の 10 日から 11 日までをお願いします
 S: どんな部屋をご希望ですか？
 U: ツインを 1 部屋、禁煙とダブル 1 部屋、禁煙です
 S: 画面の内容でよろしいでしょうか？
 U: はい、結構です
 S: 予約を承りました．ご利用ありがとうございます

図3 実際に行われた対話の例（S: システム，U: 実験参加者）

加者の発話が 1 語発話になる単純なしりとり対話であったため可能であった．補足発話の厳密な定義を与えることは容易ではないので、今回の実験で収録した対話データの中でその数を数えることは難しい．そこで、補足発話の数は数えずに発話衝突の数だけを数えて分析を行った．また、参加者がまだ話し続けているのにロボットが話し始めてしまった場合の発話衝突だけを数えた．勿論、まだロボットが話しているのに参加者が話し始めることで起こる発話衝突もあるが、これらは本研究の対象ではないのでここでは数えない．つまり、先に述べたバージインの場合や、システム発話中に参加者が早く話し始めすぎた場合などは数えない．同様に、システムが発話中に参加者が行う相槌もここでは数えない．

発話衝突は実験中に実験補助スタッフによって数えられ、また実験後に別の研究補助スタッフによって音声を聞きながら書き起こしテキスト上でも数えられた．著者のうちの 1 人が 2 つの計数結果を確認・総合し、最終的な計数結果とした．参加者毎の発話衝突の回数を表 2 に示す．

この結果に対して、まず 2 要因 2 水準の分散分析を行った．その結果、応答速度要因と明滅光源要因の間に交互

作用は認められなかった（ $F_{1,44} = 1.55, p = 0.24$ ）．応答速度要因の主効果が認められ、応答速度要因、すなわち低速（条件 A と B）と中速（条件 C と D）の間に有意差が認められた（ $F_{1,44} = 12.22, p < 0.005$ ）．これは、ユーザの発話が終了してからシステムの応答までの間隔を長くすることで、実際に発話衝突を削減できることを示している．

この分散分析の結果では、明滅光源要因の主効果に有意差は認められなかった（ $F_{1,44} = 0.28, p = 0.60$ ）．しかしこの結果は、明滅光源が発話衝突の抑制に有効となることが期待されるのは主に低速条件であること^{*3}と、その低速条件では発話衝突の数が中速条件よりも少ないことを考えると妥当である．

そこで、次に低速条件（条件 A と B）だけに限って、発話衝突が起きた参加者の数についてフィッシャーの正確確率検定（片側）を行った．発話衝突が起きた参加者の数の分割表を表 3 に示す．検定の結果、有意差が認められた（ $p < 0.05$ ）．これは、低速化した対話において明滅光源が発話衝突の抑制に有効であることを示している．

4.3 対話の印象

対話の印象に関する形容詞対を用いたアンケートの結果を分析した．表 4 に対話の印象についての形容詞対に

表3 低速条件で発話衝突が起きた参加者数の分割表

条件	衝突あり	衝突なし	計
明滅光源あり (A)	3	9	12
明滅光源なし (B)	8	4	12

*3 3.2 節で述べたように、明滅光源の導入の目的の 1 つは、対話の低速化によって誘発される補足発話を抑制することで発話衝突の発生を防ぐことである．

対する参加者の評価結果を示す．評価には 7 段階のリッカート尺度 [Likert 32] (1 がネガティブな形容詞に対する強い同意, 7 がポジティブな形容詞に対する強い同意を表す) を用いた．表中では, 各形容詞対毎に, 4 条件の中で最も高いスコアに下線を引いてある．

因子分析 (主因子法・バリマックス回転) を行い, スクリプロットから 5 因子を抽出した．因子分析の結果を表 5 に示す．この因子を形容詞対に基づいて解釈し, それぞれ「親和性因子」「安心性因子」「娯楽性因子」「リラックス因子」「温和性因子」と名付けた．回帰法によって因子得点を求め, 条件間で比較を行った．2 要因 2 水準の分散分析を行ったところ, 2 番目の安心性因子に関して明滅光源要因の主効果に有意傾向が認められ ($F_{3,44} = 3.53$, $p = 0.07$), 明滅光源を用いることでユーザに安心な印象を与えられる可能性が示唆された．分散分析の結果を表 6 に示す．

4.4 ロボットの印象

ロボットの印象を分析した．分析方法は対話の印象の分析と同じである．表 7 にロボットの印象についての形容詞対に対する参加者の評価結果を示す．

ロボットの印象についても 5 因子が抽出され, それぞれ「親和性因子」「信頼性因子」「活動性因子」「積極性因子」「謙虚性因子」*4 と名付けた．因子分析の結果を表 8 に示す．4 条件間の分散分析の結果, 5 番目の謙虚性因子について応答速度要因の主効果に有意傾向が認められ ($F_{3,44} = 3.39$, $p = 0.07$), 低速化することでロボットに謙虚な印象が与えられる可能性が示唆された．分散分析の結果を表 9 に示す．

4.5 システムの実用性

参加者に対話システムを 2 つの指標で評価させた．1 つは「システムを便利だと思うか (便利度)」で, もう 1 つは「システムを利用したいと思うか (利用希望度)」である．評価には印象評価と同じ 7 段階のリッカート尺度を用い, 数値が大きいほど, 便利だ / 利用したいと思うことを表す．

便利度についての平均点を表 10 に示す．便利度について分散分析を行ったところ, 応答速度要因と明滅光源要因の間に交互作用は認められなかった ($F_{1,44} = 1.26$, $p = 0.27$)．応答速度要因の主効果に有意差は認められず ($F_{1,44} = 0.19$, $p = 0.67$), 明滅光源要因の主効果にも有意差は認められなかった ($F_{1,44} = 0.19$, $p = 0.67$)．

利用希望度についての平均点を表 11 に示す．利用希望度について分散分析を行ったところ, 応答速度要因と明滅光源要因の間に交互作用に有意傾向が認められた

($F_{1,44} = 3.36$, $p = 0.07$)．単純主効果の検定を行ったところ, 群間に有意差は認められなかった．分散比と有意確率は, 低速条件における明滅光源要因では $F_{1,44} = 2.68$, $p = 0.11$, 中速条件における明滅光源要因では $F_{1,44} = 0.91$, $p = 0.35$, 明滅光源あり条件における応答速度要因では $F_{1,44} = 1.51$, $p = 0.23$, 明滅光源なし条件における応答速度要因では $F_{1,44} = 1.86$, $p = 0.18$ であった．

4.6 ユーザの評価についての考察

一般にヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) においてはシステムの応答はすぐに返すべきとされており [Nielsen 93], [Shiwa 08] でも GUI を用いた実験でそれを支持する結果が示されていた．しかし今回の実験では, 対話を低速化することによる統計的に有意な評価の低下は, 印象評価においては認められなかった．また, 実用性評価においても, 対話の低速化による統計的に有意な評価の低下は認められなかった．便利度については, 交互作用にも, 応答速度要因及び明滅光源要因の主効果にも有意差が認められなかった．利用希望度については, 交互作用に有意傾向が認められたものの, 下位検定では群間に有意差は認められなかった．これらのことは, 一般的な HCI 設計の指針とは異なり, 音声対話においては応答を遅延させることが必ずしも悪くないこと, つまり言語的な側面で人間のように素早く応答するシステムを目指すよりも, 対話を遅くすることで得られるメリット (発話衝突の減少, より高度な処理の導入による対話理解精度の向上など) を追求する方が有意義であることを示唆している．

我々のこの発見は, 一見すると, 一般的な HCI 設計指針に反するだけでなく, Shiwa ら [Shiwa 08] によって見いだされたヒューマンロボットインタラクションの設計指針 (「会話ロボットの応答タイミングは 1 秒後が最適である」) と矛盾する．この矛盾は, 以下の 3 つの相違点に起因すると考える．

- Shiwa らの実験は被験者内計画を採用しているのに対し, 我々の実験は被験者間計画である．被験者内計画は相対評価となるため, 差が強調されやすい．
- Shiwa らの実験では, エラーの無い完璧なロボットが想定された (WOZ 実験)．我々の実験で使用した音声対話システムは, 可能な限りの性能向上を図っているものの, 依然として多数の誤りを犯す完璧とは言えないシステムであった．
- Shiwa らの実験では, ロボットの応答タイミングに対する特定の直接的な評価を行った．一方我々の実験では, 便利度や利用希望度という全体的かつ間接的な評価を行った．

これらのことから (少なくとも現状の音声認識・理解技術の水準では) 応答タイミングは音声対話システムのユーザビリティに大きな影響を持たず, それゆえに, 表面的に結果が矛盾して見えたただで我々は仮説を立てて

*4 この因子に寄与した形容詞対は「恥ずかしがり」と「恥知らず」の対だけであるが, ここでは「恥ずかしがり」は「恥知らず」と対比されており肯定的な意味合いを持つので謙虚であることと読み替えた．

いる。つまり、完璧に機能するシステムを用いて応答タイミングを直接的に比較させれば、ユーザは遅く応答するシステムより早く応答するシステムを好むが、便利度や利用希望度といった実用的側面からみれば応答タイミングの重要性は必ずしも高くないということである。以上の帰結は今回の実験結果の妥当な解釈であると考えるが、あくまで仮説の域を出ないものであり、今後実験を重ねて更に証拠を得る必要がある。

[Shiwa 08] と類似の研究として、電話越しの音声対話システムの応答タイミングに関するもの [西 96] と、アバタの応答タイミングに関するもの [武藤 07] がある。西の研究では 1 秒が最も評価が高く、0.5 秒以前でも 1.5 秒以降でも急速に評価が下がるという結果を得ており、武藤らの研究では 900 ミリ秒のときに最も印象評価が高く、1800 ミリ秒では全体に印象が悪いという結果を得ている。しかしこれらの研究は、[Shiwa 08] 同様、エラーがまったくない状況で、応答タイミングの良し悪しに限定して、被験者内計画での比較実験を行っている。他にも、人間同士の対話において応答タイミングが 0 秒付近に集中していた [長岡 00] という知見も示されている。このように、人間同士の対話で応答タイミングが鋭い分布を持つことや、システムの応答タイミングに対する評価がわずかな時間の差に敏感に反応することは確かであるが、これらのことがシステムの全体的な評価に重要な影響を持つかどうかは別の問題である。従来研究では、応答タイミングがシステム全体の評価にどう影響するかについては触れられてこなかった。今回の実験では、課題指向対話システムの全体的な評価に応答タイミングの良し悪しは必ずしも影響しないという可能性が示された。もちろん、システムの応答の精度が非常に高い（システムが対話的なエラーをしない）状況では、応答タイミングの良し悪しが全体的な評価に影響することはあり得るが、これについても今後実験によって確かめる必要がある。

4.7 ユーザ層による違い

今回の実験は、性別、年代での差異を調べるものではないが、参考までに、性別・年代毎の平均課題達成数と平均衝突回数を示す。

表 12 に性別・年代毎の参加者数を、表 13 に平均課題達成数を、表 14 に性別・年代毎の平均衝突回数を示す。平均課題達成数については特に傾向は伺えないが、平均衝突回数に関しては男性の方が多いという傾向が伺える。

5. お わ り に

本論文では、48 人の参加者が明滅光源を備えたインタフェースロボットと連結された音声対話システムとのホテル予約課題に取り組んだ実験の結果を示した。実験の主たる目的は、Artificial Subtle Expression (ASE) [小松 10] として実装された明滅光源が、音声対話を阻害する

発話衝突を抑制できることを示すことである。実験では、明滅光源要因（光源あり／なし）と応答速度要因（中速／低速）の 2 つの要因を設定した。分析により、システムの応答を遅くすることで対話を低速化させると発話衝突が減少し、さらに明滅光源を導入することで発話衝突が減少したことが統計的有意性をもって示された。アンケートの分析結果からは、明滅光源が参加者に安心感を与えることが示唆された。

また、対話を低速化させることはシステムに対するユーザの評価に悪影響を及ぼすと予測したが、それに反して分析結果からそのような事実は確認できなかった。これは、対話の低速化が音声対話システム設計における有効なアプローチであり得ることを示す 1 つの証拠と考える。

我々の研究は、ユーザに意識的・能動的な負荷をかけることなく対話のあり方をシステムに都合のよい形に制限しようとする試みである。対話のあり方を制限することが有益となる可能性があることは [Fernández 07] でも示されている。彼女らの実験では、人・人の間の課題指向対話において Push-To-Talk 方式（半二重通信）を用いて双方向性 (interactivity) を制限すると、より課題に適した慎重な確認戦略が自然と取られるようになる一方、従来研究の予想に反して課題レベルでの効率は低下しないことを示している。本論文で提案した手法は、Push-To-Talk のように能動的・意識的な行動をユーザに強いるわけでもなく、また砂時計アイコンを用いた GUI のようにシステム側で入力遮断を行うわけでもなく、あくまでユーザ側の協力を無意識的に引き出すことでシステムに都合のよい状態を作り出そうとする。3.2 節で述べたように、ASE はユーザが不要な繰り返し・言い直しをすることを抑制するだけであって、バージン（割り込み）発話を排除するものではないので、ユーザ側の自由は制限されていない。それでいて、バージンとの区別が難しい言い直しが減ることで、システムの発話に衝突したユーザの発話がバージンである事前確率が高くなり、全体での理解率は向上することが期待できる。

明滅光源を用いる手法は、ロボットに限らず、ハンドヘルドデバイスや自動車など様々な機器に適用することができる。一方、実用化されている音声対話システムのシェアを大きく占めているコールセンターアプリケーション（電話インタフェース）には直接適用することは難しい。しかしながら、下地となっている「ASE を併用しながら対話を低速化する」というアプローチ自体は、音響的な ASE を用いることで、電話インタフェースにもそのまま通用する可能性がある。今後はこのような音響的な ASE についても検討していきたい。

現時点で、本論文で示した実験の結果から我々が導く仮説は、ASE を用いて内部状態を伝える事により非言語的な応答を素早く返しさえすれば、課題指向の音声対話システムや会話ロボットが言語的な応答を早く行う必要は無いということである。しかしながら、同じ実験を通

じて、我々はこの仮説はある特定の場合には必ずしも当てはまらない可能性があることにも気づいている。つまりある特定の状況では、例えば ASE のような非言語的応答があったとしても、言語的な応答が遅れることでユーザが不安感などを抱くことがあると考えている。そのような状況とは、ユーザがシステムからの挨拶に答えたり、システムの質問に「はい」や「いいえ」などで答える場合である。これに関する我々の仮説は、ユーザの返答をシステムが理解したり次の行動を決めるのが難しくないと予測する場面においては、ユーザはシステムからの言語的な応答が素早く返ることを期待し、かつ遅い応答を嫌う、というものである。もしこの仮説が妥当であり、ユーザのそのような期待が先行するシステムの発話行為タイプなどから推定できるのであれば、イントネーションや表情、音声認識結果など、信頼性の低い情報を用いることなく、必要な時にだけ早めに応答するシステムを容易に構築できることになる。今後はこの可能性についても検討したい。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Bartneck 05] Bartneck, C. and Reichenbach, J.: Subtle Emotional Expressions of Synthetic Characters, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 62, No. 2, pp. 179–192 (2005)
- [Bell 01] Bell, L., Boye, J., and Gustafson, J.: Real-time Handling of Fragmented Utterances, in *Proceedings of the NAACL-2001 workshop on Adaptation in Dialogue Systems*, pp. 2–8 (2001)
- [都 09] 都 恩珍: 重なり後の発話の中断と修復現象の一側面, 桜花学園大学人文学部研究紀要, 第 11 巻, pp. 69–77 (2009)
- [榎本 99] 榎本 美香, 土屋 俊: オーバーラップ発話の評定方法とその基礎統計, 電子情報通信学会技術研究報告, 第 NLC99-49, SP99-117 巻, pp. 13–18 (1999)
- [Fernández 07] Fernández, R., Schlangen, D., and Lucht, T.: Push-to-Talk Ain't Always Bad! Comparing Different Interactivity Settings in Task-oriented Dialogue, in *Proceedings of the 11th Workshop on the Semantics and Pragmatics of Dialogue (DECALOG)*, pp. 25–31 (2007)
- [船越 08] 船越 孝太郎, 中野 幹生, 長谷川 雄二, 辻野 広司: 概念体系を中心とした自然言語インターフェース構築フレームワーク, 人工知能学会論文誌, Vol. 23, No. 6, pp. 437–446 (2008)
- [船越 09] 船越 孝太郎, 小林 一樹, 中野 幹生, 山田 誠二, 北村 泰彦, 辻野 広司: Artificial Subtle Expression としての明滅光源による音声対話の円滑化, 電子情報通信学会学会論文誌, Vol. J92-A, No. 11, pp. 818–827 (2009)
- [Hayashi 88] Hayashi, R.: Simultaneous Talk – from the Perspective of Floor Management of English and Japanese Speakers, *World Englishes*, Vol. 7, No. 3, pp. 269–288 (1988)
- [Hirasawa 99] Hirasawa, J., Nakano, M., Kawabata, T., and Aikawa, K.: Effects of System Barge-in Responses on User Impressions, in *Proceedings of the Sixth European Conference on Speech Communication and Technology (EUROSPEECH)*, pp. 1391–1394 (1999)
- [Kendon 67] Kendon, A.: Some Functions of Gaze Direction in Social Interaction, *Acta Psychologica*, Vol. 26, pp. 1–47 (1967)
- [Kendon 94] Kendon, A.: Do Gestures Communicate? A Review, *Research in Language and Social Interaction*, Vol. 27, No. 3, pp. 175–200 (1994)
- [Kitaoka 05] Kitaoka, N., Takeuchi, M., Nishimura, R., and Nakagawa, S.: Response Timing Detection Using Prosodic and Linguistic Information for Human-friendly Spoken Dialog Systems, *Journal of The Japanese Society for Artificial Intelligence*, Vol. 20, No. 3, pp. 220–228 (2005)
- [小松 10] 小松 孝徳, 山田 誠二, 小林 一樹, 船越 孝太郎, 中野 幹生: Artificial Subtle Expressions: エージェントの内部状態を直感的に伝達する手法の提案, 人工知能学会論文誌, Vol. 25, No. 6, pp. 733–741 (2010)
- [Likert 32] Likert, R.: A Technique for the Measurement of Attitudes, *Archives of Psychology*, Vol. 22, No. 140, pp. 1–55 (1932)
- [武藤 07] 武藤 ゆみ子, 高野 弘二, 大良 宏樹, 小林 洋平, 山本 知仁, 三宅 美博: 音声インタフェースにおける発話タイミング制御とその評価, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2007, pp. 639–642 (2007)
- [長岡 00] 長岡 千賀, 小森 政嗣, 中村 敏枝: 自由対話における話者交替の潜時と呼吸の関連, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2000, pp. 311–314 (2000)
- [中臺 03] 中臺 一博, 奥乃 博, 辻野 広司: ロボットを対象とした散乱理論による三話者同時発話の定位・分離・認識の向上, 人工知能学会研究資料, 第 SIG-Challenge-0318 巻, pp. 33–38 (2003)
- [Nakano 07] Nakano, M., Nagano, Y., Funakoshi, K., Ito, T., Araki, K., Hasegawa, Y., and Tsujino, H.: Analysis of User Reactions to Turn-Taking Failures in Spoken Dialogue Systems, in *Proceedings of the 8th SIGdial Workshop on Discourse and Dialogue*, pp. 120–123 (2007)
- [Nielsen 93] Nielsen, J.: *Usability Engineering*, Academic Press (1993)
- [西 96] 西 宏之: 音声対話システムにおけるプロンプト音声送出タイミングの評価と制御法, 電子情報通信学会論文誌. D-II, 情報・システム, II-情報処理, Vol. 79, No. 12, pp. 2170–2175 (1996)
- [西村 09] 西村 良太, 中川 聖一: 応答タイミングを考慮した音声対話システムとその評価, 情報処理学会研究報告, 第 2009-SLP-77 巻, pp. 1–6 (2009)
- [大須賀 06] 大須賀 智子, 堀内 靖雄, 西田 昌史, 市川 薫: 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, Vol. 21, No. 1, pp. 1–8 (2006)
- [Prendinger 05] Prendinger, H., Mori, J., and Ishizuka, M.: Using Human Physiology to Evaluate Subtle Expressivity of a Virtual Quizmaster in a Mathematical Game, *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 62, No. 2, pp. 231–245 (2005)
- [Raux 08] Raux, A. and Eskenazi, M.: Optimizing Endpointing Thresholds using Dialogue Features in a Spoken Dialogue System, in *Proceedings of the 9th SIGdial Workshop on Discourse and Dialogue*, pp. 1–10 (2008)
- [Rogers 78] Rogers, W.: The Contribution of Kinesic Illustrators towards the Comprehension of Verbal Behavior within Utterances, *Human Communication Research*, Vol. 5, pp. 54–62 (1978)
- [澤田 03] 澤田 知寛, 関矢 俊之, 小川 哲司, 小林 哲則: 階層的音源分離に基づく混合音声の認識, 人工知能学会研究資料, 第 SIG-Challenge-0318 巻, pp. 27–32 (2003)
- [Shiwa 08] Shiwa, T., Kanda, T., Imai, M., Ishiguro, H., and Hagita, N.: How Quickly Should Communication Robots Respond?, in *Proceedings of the 3rd ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pp. 153–160 (2008)
- [Takano 01] Takano, S., Tanaka, K., Mizuno, H., Abe, M., and Nakajima, S.: A Japanese TTS System Based on Multi-form Units and a Speech Modification Algorithm with Harmonics Reconstruction, *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, Vol. 9, No. 1, pp. 3–10 (2001)
- [武田 09] 武田 龍, 中臺 一博, 高橋 徹, 駒谷 和範, 尾形 哲也, 奥乃 博: 残響下でのバージン発話認識のための多入力独立成分分析を応用したロボット聴覚, 日本ロボット学会誌, Vol. 27, No. 7, pp. 782–792 (2009)
- [Yamada 06] Yamada, S. and Komatsu, T.: Designing Simple and Effective Expression of Robot's Primitive Minds to a Human, in *Proceedings of 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2614–2619 (2006)

〔担当委員: 松原 仁〕

2010 年 7 月 1 日 受理

著者紹介

船越 孝太郎(正会員)

2000 年東京工業大学工学部情報工学科卒業。2002 年同大学大学院情報理工学研究科計算工学専攻修士課程修了。2005 年同大学院博士課程修了。同年同大学院特別研究員。2006 年より(株)ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン リサーチ・博士(工学)。自然言語理解、音声対話に関する研究に従事。情報処理学会、言語処理学会、ヒューマンインタフェース学会、AAAI、ACM SIGCHI 会員。

小林 一樹(正会員)

2000 年茨城大学工学部メディア通信工学科卒業。2002 年同大学院理工学研究科メディア通信工学専攻博士前期課程修了。2006 年総合研究大学院大学複合科学研究科情報学専攻博士後期課程修了。博士(情報学)。同年関西学院大学理工学研究科 ヒューマンメディア研究センター 博士研究員。2008 年より信州大学大学院工学系研究科助教。ヒューマンロボットインタラクション、ヒューマンエージェントインタラクション、環境情報センシングに関する研究に従事。IEEE、ACM、ヒューマンインタフェース学会、日本ロボット学会、日本知能情報ファジィ学会各会員。

中野 幹生(正会員)

1988 年東京大学教養学部基礎科学科第一卒業。1990 年同大学大学院理学系研究科相関理化学専攻修士課程修了。1990 年-2004 年日本電信電話(株)勤務。博士(理学)。2004 年(株)ホンダ・リサーチ・インスティテュート・ジャパン入社。現在同社プリンシパル・リサーチ・対話システム、音声言語理解の研究に従事。情報処理学会、言語処理学会、電子情報通信学会、日本ロボット学会、AAAI、ACL、ACM、IEEE、ISCA 各会員。

小松 孝徳(正会員)

1997 年芝浦工業大学工学部卒業。2003 年東京大学大学院総合文化研究科博士課程修了。博士(学術)。2003 年公立はこだて未来大学システム情報科学部助手。2007 年信州大学ファイバーナノテク国際若手研究者育成拠点助教。現在に至る。人間の直感的認知特性という切り口から、人間と人工物とのインタラクションを考察する研究活動に従事。日本認知科学会、情報処理学会、ヒューマンインタフェース学会、ACM、IEEE 各会員。

山田 誠二(正会員)

1984 年大阪大学基礎工学部卒業。1989 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了。工学博士。1989 年大阪大学基礎工学部助手。1991 年大阪大学産業科学研究所講師。1996 年東京工業大学大学院総合理工学研究科助教授。2002 年国立情報学研究所教授。現在にいたる。HAI、知的インタラクティブシステムに興味をもつ。AAAI、ACM、IEEE 各会員。

◇ 付 録 ◇

A. 課題教示

以下は、実験(3・4 節参照)で用いた 5 つの予約課題である。

ホテル予約 課題1

- 以下のように部屋を予約してください

- 滞在期間
  - 右のカレンダーにオレンジ色の枠で示された期間
- 部屋
  - シングル, 2部屋, 禁煙

チェックイン   チェックアウト

2009年3月						
日	月	火	水	木	金	土
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

ホテル予約 課題2

- 以下のように部屋を予約してください

- 滞在期間
  - 右のカレンダーにオレンジ色の枠で示された期間
- 部屋
  - ツイン, 1部屋, 禁煙

2009年3月						
日	月	火	水	木	金	土
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

ホテル予約 課題3

- 以下のように部屋を予約してください

- 滞在期間
  - 右のカレンダーにオレンジ色の枠で示された期間
- 部屋
  - ツイン, 1部屋, 禁煙
  - ダブル, 1部屋, 禁煙

2009年3月						
日	月	火	水	木	金	土
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

ホテル予約 課題4

- 以下のように部屋を予約してください

- 滞在期間
  - 右のカレンダーにオレンジ色の枠で示された期間
- 部屋
  - シングル, 3部屋, 禁煙
  - ツイン, 1部屋, 禁煙

2009年3月						
日	月	火	水	木	金	土
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

ホテル予約 課題5

- 以下のように部屋を予約してください

- 滞在期間
  - 右のカレンダーにオレンジ色の枠で示された期間
- 部屋
  - シングル, 1部屋, 禁煙
  - ダブル, 1部屋, 禁煙
  - ツイン, 1部屋, 禁煙

2009年3月						
日	月	火	水	木	金	土
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

表 4 対話の印象についての形容詞対と評価結果

応答速度		低速		中速	
明滅光源		あり	なし	あり	なし
条件		A	B	C	D
ポジティブ	ネガティブ	平均 (標準偏差)	平均 (標準偏差)	平均 (標準偏差)	平均 (標準偏差)
気軽な	重厚な	3.42 (1.24)	3.33 (1.07)	3.50 (1.31)	4.00 (1.54)
円滑な	ぎこちない	3.25 (1.29)	2.58 (1.00)	3.17 (1.59)	3.00 (1.35)
感じのよい	感じのわるい	4.42 (1.00)	4.08 (0.79)	4.08 (1.00)	4.42 (1.08)
面白い	つまらない	4.58 (0.67)	4.17 (1.03)	3.83 (1.95)	4.17 (1.11)
リラックスする	緊張する	3.25 (1.06)	3.25 (1.48)	3.42 (1.16)	3.75 (1.48)
安心な	不安な	3.33 (1.37)	2.42 (1.24)	2.75 (1.06)	2.58 (1.08)
暖かい	冷たい	3.25 (1.48)	3.25 (0.97)	3.67 (0.98)	3.67 (1.15)
愉快的な	不愉快的な	4.33 (0.89)	3.67 (1.15)	3.17 (1.03)	4.25 (0.97)
ゆったりとした	せわしない	4.75 (1.06)	4.92 (1.51)	4.83 (1.27)	4.67 (0.89)
うちとけた	かたくるしい	3.08 (1.16)	2.67 (0.89)	2.67 (1.44)	3.17 (1.03)
明るい	暗い	3.42 (1.00)	3.00 (0.85)	3.17 (0.94)	3.67 (0.78)
わかりやすい	わかりにくい	4.00 (1.76)	3.58 (1.51)	4.17 (1.59)	4.50 (0.80)
好きな	嫌いな	4.42 (0.67)	3.75 (0.87)	4.08 (1.16)	4.33 (0.78)
得意な	苦手な	3.75 (1.22)	3.17 (1.11)	3.17 (1.19)	3.58 (1.24)
おだやかな	いらいらする	4.33 (1.37)	3.08 (1.56)	3.83 (1.95)	3.75 (0.87)
興味深い	退屈な	4.58 (1.24)	4.25 (1.14)	4.33 (1.67)	4.67 (1.30)
元気がでる	疲れる	3.42 (0.67)	2.92 (1.00)	3.00 (0.85)	3.25 (0.87)
落ち着いた	落ち着かない	4.50 (1.31)	3.50 (1.38)	3.83 (1.11)	3.58 (0.79)

表 5 対話の印象評価における因子分析結果 (バリマックス回転, 因子負荷量行列)

因子	項目 (ポジティブ)	因子負荷量				
		1	2	3	4	5
1	感じのよい	0.80	0.13	0.23	0.04	0.13
	好きな	0.80	0.16	0.15	0.17	-0.23
	暖かい	0.58	0.01	-0.10	0.34	0.16
	おだやかな	0.56	0.52	0.23	-0.25	0.15
	明るい	0.54	0.23	0.05	0.27	0.28
	うちとけた	0.49	0.37	0.15	0.38	0.04
2	落ち着いた	0.35	0.86	0.06	-0.07	0.06
	安心な	0.02	0.68	0.05	0.28	0.15
	得意な	0.13	0.62	0.37	0.42	0.14
	元気がでる	0.32	0.57	0.36	0.31	-0.04
	円滑な	0.07	0.49	0.33	0.26	0.23
3	興味深い	0.31	0.03	0.88	0.14	0.02
	面白い	-0.03	0.22	0.59	0.06	0.27
	愉快的な	0.10	0.27	0.43	0.15	0.21
4	気軽な	0.20	0.08	0.14	0.68	-0.10
	リラックスする	0.14	0.22	0.11	0.63	-0.05
5	わかりやすい	0.04	0.26	0.13	0.03	0.87
	ゆったりとした	0.09	0.00	0.17	-0.13	0.34
寄与率 (%)		16.12	16.04	10.79	9.91	7.27

表 6 対話の印象に対する因子得点と分散分析結果

factor	応答速度	明滅光源	平均	標準偏差	分散分析	$F_{3,44}$	p
1. 親和性	低速	なし	-0.31	0.27	応答速度	0.45	0.51
		あり	0.13	0.27	明滅光源	0.12	0.73
	中速	なし	0.21	0.27	応答速度	1.59	0.21
		あり	-0.03	0.27	× 明滅光源		
2. 安心性	低速	なし	-0.25	0.26	応答速度	1.19	0.28
		あり	0.53	0.26	明滅光源	3.53	0.07
	中速	なし	-0.25	0.26	応答速度	1.21	0.28
		あり	-0.04	0.26	× 明滅光源		
3. 娯楽性	低速	なし	-0.03	0.28	応答速度	0.09	0.77
		あり	0.12	0.28	明滅光源	0.00	0.96
	中速	なし	0.05	0.28	応答速度	0.35	0.56
		あり	-0.13	0.28	× 明滅光源		
4. リラックス	低速	なし	-0.08	0.25	応答速度	1.24	0.27
		あり	-0.20	0.25	明滅光源	1.37	0.25
	中速	なし	0.38	0.25	応答速度	0.49	0.49
		あり	-0.10	0.25	× 明滅光源		
5. 温和性	低速	なし	-0.18	0.27	応答速度	1.78	0.19
		あり	-0.18	0.27	明滅光源	0.17	0.68
	中速	なし	0.29	0.27	応答速度	0.20	0.66
		あり	0.06	0.27	× 明滅光源		

表 7 ロボットの印象についての形容詞対と評価結果

応答速度		低速		中速	
明滅光源		あり	なし	あり	なし
条件 ID		A	B	C	D
ポジティブ	ネガティブ	平均 (標準偏差)	平均 (標準偏差)	平均 (標準偏差)	平均 (標準偏差)
積極的な	消極的な	3.67 (0.78)	3.58 (0.79)	3.92 (1.16)	4.17 (1.19)
人のよい	人のわるい	4.08 (1.08)	3.92 (1.31)	4.17 (0.94)	<u>4.33</u> (0.78)
なまいきでない	なまいきな	4.75 (0.87)	4.17 (1.59)	4.42 (0.90)	<u>5.25</u> (1.36)
ひとなつっこい	近づきかた	3.08 (1.08)	3.42 (1.31)	3.50 (1.09)	<u>4.00</u> (0.95)
かわいらしい	にくらしい	<u>4.17</u> (0.39)	<u>4.17</u> (0.58)	<u>4.17</u> (0.83)	4.08 (0.79)
心のひろい	心のせまい	<u>4.17</u> (0.58)	3.75 (0.75)	3.92 (0.79)	4.08 (0.79)
社交的な	非社交的な	3.75 (1.22)	3.50 (1.17)	3.33 (1.15)	<u>3.92</u> (0.90)
責任感のある	責任感のない	4.42 (1.08)	4.17 (1.34)	4.08 (1.24)	<u>4.50</u> (1.00)
慎重な	軽率な	<u>5.42</u> (1.08)	4.92 (0.90)	4.92 (1.24)	4.50 (1.31)
恥ずかしがりの	恥知らずの	<u>4.08</u> (0.51)	<u>4.08</u> (0.51)	3.83 (0.72)	3.83 (0.39)
重厚な	軽薄な	<u>5.00</u> (1.28)	4.67 (1.07)	<u>5.00</u> (1.35)	4.50 (1.17)
うきうきとした	沈んだ	3.50 (0.52)	3.67 (1.07)	3.33 (0.78)	<u>4.00</u> (1.04)
堂々とした	卑屈な	4.92 (1.51)	<u>5.00</u> (1.21)	4.75 (0.97)	4.83 (0.72)
感じのよい	感じのわるい	<u>4.25</u> (1.06)	3.67 (1.23)	3.58 (0.90)	4.17 (0.72)
分別のある	無分別な	<u>4.67</u> (1.23)	4.33 (1.07)	3.92 (1.38)	4.33 (0.78)
親しみやすい	親しみにくい	3.75 (1.29)	3.33 (1.50)	3.17 (1.40)	<u>4.42</u> (1.00)
意欲的な	無気力な	3.83 (1.03)	3.58 (0.67)	3.25 (1.48)	<u>4.17</u> (0.94)
自信のある	自信のない	4.50 (1.00)	4.25 (0.87)	4.00 (0.95)	<u>4.67</u> (0.89)
気長な	短気な	4.42 (0.79)	<u>4.92</u> (1.31)	4.00 (1.04)	4.33 (1.07)
親切的な	不親切的な	3.67 (1.30)	<u>4.08</u> (1.44)	3.33 (1.15)	4.00 (1.04)

表 8 ロボットの印象評価における因子分析結果 (バリマックス回転, 因子負荷量行列)

因子	項目 (ポジティブ)	因子負荷量				
		1	2	3	4	5
1	なまいきでない	0.85	0.12	-0.02	-0.10	-0.05
	人のよい	0.79	0.14	0.07	0.27	0.23
	社交的な	0.72	0.02	0.08	-0.18	-0.02
	感じのよい	0.71	0.02	0.32	0.29	0.30
	ひとなつっこい	0.69	-0.16	0.37	0.02	0.22
	かわいらしい	0.65	-0.23	0.10	0.23	0.03
	親切的な	0.65	0.24	0.31	-0.02	0.20
	うきうきとした	0.63	-0.43	0.33	0.00	-0.01
	心のひろい	0.62	-0.01	0.05	0.19	0.01
2	重厚な	-0.15	0.86	-0.08	-0.18	-0.27
	慎重な	-0.11	0.65	0.04	-0.01	0.24
	責任感のある	-0.14	0.61	0.52	-0.10	0.19
	分別のある	0.41	0.54	0.21	-0.05	0.45
	堂々とした	0.17	0.47	0.07	-0.03	-0.12
3	親しみやすい	0.54	-0.19	0.71	-0.04	0.14
	意欲的な	0.26	0.20	0.43	-0.01	-0.07
	自信のある	0.05	0.09	0.41	0.27	-0.22
4	気長な	0.16	0.32	0.15	0.78	-0.43
	積極的な	0.34	-0.07	0.15	0.71	0.15
5	恥ずかしがりの	0.10	-0.03	-0.06	-0.03	0.56
寄与率 (%)		26.15	13.02	8.55	7.60	6.08

表 9 ロボットの印象に対する因子得点と分散分析結果

因子	応答速度	明滅光源	平均	標準偏差	分散分析	$F_{3,44}$	p
1. 親和性	低速	なし	-0.19	0.28	応答速度	0.38	0.54
		あり	0.02	0.28	明滅光源	0.32	0.58
	中速	なし	0.35	0.28	応答速度	1.71	0.20
		あり	-0.17	0.28	× 明滅光源		
2. 信頼性	低速	なし	-0.10	0.28	応答速度	0.30	0.59
		あり	0.26	0.28	明滅光源	0.85	0.36
	中速	なし	-0.16	0.28	応答速度	0.12	0.73
		あり	0.00	0.28	× 明滅光源		
3. 活動性	低速	なし	-0.11	0.26	応答速度	0.13	0.72
		あり	0.01	0.26	明滅光源	1.42	0.24
	中速	なし	0.42	0.26	応答速度	2.68	0.11
		あり	-0.32	0.26	× 明滅光源		
4. 積極性	低速	なし	-0.39	0.28	応答速度	1.15	0.29
		あり	0.09	0.28	明滅光源	1.45	0.23
	中速	なし	0.05	0.28	応答速度	0.25	0.62
		あり	0.25	0.28	× 明滅光源		
5. 謙虚性	低速	なし	0.39	0.26	応答速度	3.39	0.07
		あり	0.09	0.26	明滅光源	0.18	0.67
	中速	なし	-0.28	0.26	応答速度	0.54	0.47
		あり	-0.20	0.26	× 明滅光源		

表 10 便利度

応答速度	低速		中速	
明滅光源	あり	なし	あり	なし
条件 ID	A	B	C	D
平均	3.50	3.17	3.17	3.92
標準偏差	2.02	1.53	1.47	1.62

表 11 利用希望度

応答速度	低速		中速	
明滅光源	あり	なし	あり	なし
条件 ID	A	B	C	D
平均	3.58	2.58	2.83	3.42
標準偏差	1.73	1.31	1.34	1.56

表 12 性別・年代毎の実験参加者数

性別 \ 年代	20 代以下	30 代	40 代以上	計
男性	16	6	3	25
女性	13	5	5	23
計	29	11	8	48

表 13 性別・年代毎の課題達成数（平均と標準偏差）

性別 \ 年代	20 代以下	30 代	40 代以上
男性	3.81(1.47)	4.00(1.26)	4.33(0.58)
女性	3.92(1.26)	4.80(0.44)	3.80(0.84)

表 14 性別・年代毎の衝突回数（平均と標準偏差）

性別 \ 年代	20 代以下	30 代	40 代以上
男性	2.19(3.71)	2.67(2.25)	2.67(3.05)
女性	1.23(2.01)	1.60(2.07)	1.60(1.95)