

Artificial Subtle Expressionによる明滅光源パターンが ロボットとの音声対話に与える影響

An Experimental Investigation of Blinking Light Patterns by Using an Artificial Subtle Expression in a Human-Robot Speech Interaction

小林 一樹^{*1} 船越 孝太郎^{*2} 山田 誠二^{*3} 中野 幹生^{*2} 小松 孝徳^{*4} 斉藤 保典^{*5}
Kazuki Kobayashi Kotaro Funakoshi Seiji Yamada Mikio Nakano Takanori Komatsu Yasunori Saito

^{*1}信州大学 大学院 工学系研究科

Graduate School of Science and Technology, Shinshu University

^{*2}(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.

^{*3}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 / SOKENDAI / Tokyo Institute of Technology

^{*4}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

^{*5}信州大学 工学部

Faculty of Engineering, Shinshu University

In this paper, we describe an investigation into users' impression that is provided by a blinking light expression as an artificial subtle expression. In a preliminary experiment, thirteen blinking patterns were used for investigating a participants' impression about agreeableness. The highest valued blinking pattern and the lowest valued one were identified and used for a speech interaction experiment. In the speech interaction experiment, 52 participants engaged in reservation tasks with a spoken dialogue system coupled with an interface robot using a blinking light expression. A sine wave, a random wave, a rectangular wave, and a non-blinking condition were used as an artificial subtle expression to express robot's internal states of "processing" or "recognizing". The results of questionnaire analyses showed that there is no significant difference in agreeableness among the conditions and the sine wave and the rectangular wave are evaluated as "more useful" than the non-blinking condition. Results of factor analyses suggested that the rectangular wave provide a comfortable impression on the dialogue.

1. はじめに

人間同士のコミュニケーションにおいて意味の伝達は発話と
いった言語情報により行われるが、顔の表情や視線、身振りな
どの非言語情報の重要性も指摘されている。非常に些細な変化
による非言語情報であってもコミュニケーションに影響を与え
ることがわかっており、そのような表出は subtle expression
と呼ばれている。このような背景から、subtle expression
を用いてロボットや擬人化エージェントといった人工物と人間と
のコミュニケーションを円滑化する研究が行われている。しか
し、わずかな動作や変化を行うにも多くの関節を必要とした
り、自然でスムーズな動作が求められるため実装コストが高い
問題がある。

このような問題に対し、我々は光の明滅やビープ音といった
シンプルな表出を行うロボットやエージェントを用いてそれ
らの内部状態を人間に伝達できることを示してきた [船越 09a,
船越 09b]。たとえば、発光ダイオードの明滅によってロボット
が「音声を認識している／考えている」という内部状態を伝達
し、ユーザとの円滑な話者交替を実現している。また、Komatsu
ら [Komatsu 10] は、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して
いる。このような、わずかに変化する人工的な表出であって
も subtle expression と同様に内部状態を伝達可能だと考え、
Artificial Subtle Expression (ASE) と呼んでいる。

ASE の利点は、コストを抑えた実装が可能であり、ユーザ

が事前知識なしに直観的に理解できる点である。さらに、上記
の発光ダイオードの明滅による ASE では、ユーザは対話やロ
ボットの印象をポジティブに評価する傾向があった。しかし、
ASE を用いたどのような表出でも印象にポジティブな影響を
与えるのかどうかは明確になっていない。そこで、本研究で
ASE による発光ダイオードの明滅パターンの違いが印象に及
ぼす影響を実験的に調査する。

2. 明滅パターン評価実験

予備実験として、意味の伝達を伴わない発光ダイオードの
明滅パターン評価実験を実施した。

2.1 実験方法

発光ダイオードを光源とし、その明滅パターンの違いがユー
ザが抱く印象にどのような影響を与えるかについて調査を行っ
た。提示するパターンは間欠カオス、ランダム、方形波、正弦
波、常時点灯の 5 種類をベースにし、点灯と消灯の切り替え頻
度を複数設定した 13 パターンが用いられた。図 1 に提示した
波形を示す (常時点灯は省略した)。これらの波形の縦軸は発
光ダイオード端子に加えた電圧に比例する。発光ダイオードに
は最小 0 ボルト、最大 5 ボルトの電圧を加えた。発光ダイオ
ードには 10K Ω の抵抗を直列に接続して光量を調整した。この
ときの部屋の明るさは、発光ダイオードの周辺で 187LUX で
あった。間欠カオスとランダム波形は値の生成間隔をパラメ
ータとし、たとえば、0.033 秒間隔で値を生成した間欠カオス波
形は「間欠カオス (0.033sec)」と表記している。また、方形
波と正弦波に関しては、周波数をパラメータとした。明滅の提
示時間はすべて 4 秒に設定した。発光ダイオード (赤色・直径

連絡先: 小林一樹, 信州大学 大学院工学系研究科

〒 380-8553 長野県長野市若里 4-17-1,

Tel: 026-269-5456, E-mail: kby@shinshu-u.ac.jp

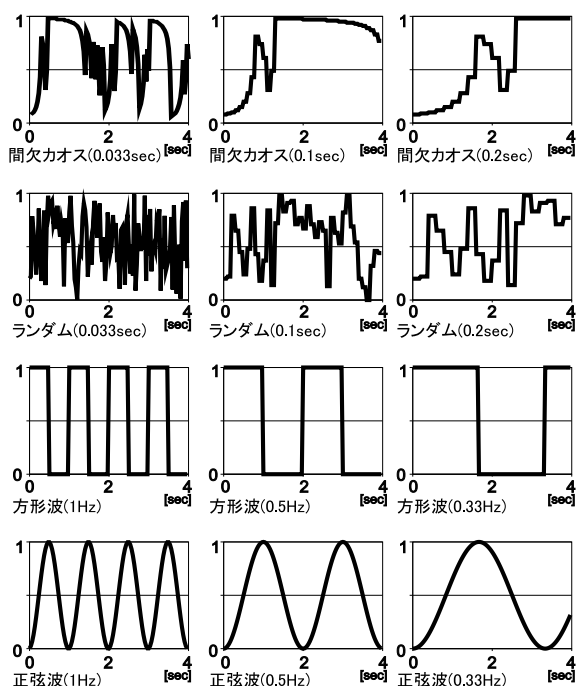


図 1: 提示波形

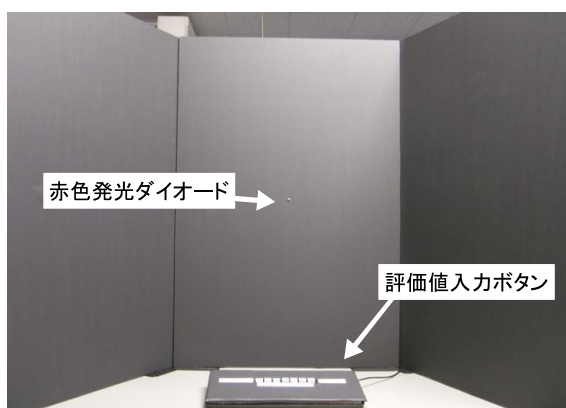


図 2: 実験環境

4ミリメートル)は黒い板の中心に固定され、実験参加者の視野には発光ダイオードと黒い板だけが収まるようにした。図2に実験環境を示す。参加者はボタンを押して提示された明滅パターンについて評価値を回答した。

実験参加者には、目の前の発光ダイオードが点滅し、その光を見て「こち良い」か「こち良くない」かを7段階で回答するように指示した。発光ダイオードの明滅前には開始音を再生し、参加者に注意を促した。明滅パターンはランダムな順序で提示され、同じパターンが3回含まれるようにした。したがって、全部で39パターンが参加者に提示された。実験参加者は信州大学の大学生および大学院生16名(男性)であり、平均年齢は23.5歳(S.D.=1.7)であった。

2.2 実験結果

表1に各明滅パターンに対する評価結果を示す。評価値1が最も「こち良くない」を表し、評価値7が最も「こち良い」を表す。実験の結果、正弦波(0.5Hz)が最も高い評価となり、ランダム(0.033sec)が最も低い評価となった。

表 1: 明滅パターンに対する評価結果

波形	平均	標準偏差
正弦波 (0.33Hz)	5.04	1.35
正弦波 (0.5Hz)	5.65	0.77
正弦波 (1Hz)	4.73	0.98
方形波 (0.33Hz)	4.17	0.78
方形波 (0.5Hz)	4.63	0.91
方形波 (1Hz)	4.40	1.17
間欠カオス (0.033sec)	2.15	0.95
間欠カオス (0.1sec)	3.00	0.61
間欠カオス (0.2sec)	3.23	0.77
ランダム (0.033sec)	1.88	1.42
ランダム (0.1sec)	1.96	0.69
ランダム (0.2sec)	2.63	0.88
常時点灯	4.17	1.46

3. ロボットとの対話実験

明滅パターン評価実験の結果に基づき、対話実験においてユーザが抱く印象に与える影響を調査した。

3.1 実験方法

発光ダイオードを取り付けたロボットとの対話実験を行った。参加者はロボットとの音声対話によりホテルの予約を行う課題に取り組んだ。音声対話システムとロボット(Wow Wee RS-Media)は先行研究[船越09a]と同様である。この実験の目的は、発光ダイオードの明滅パターンの違いが、どのようにロボットや対話の印象に影響するのかを調査することである。

発光ダイオード(赤色・直径4ミリメートル)は図3のように、ロボットの胸部に埋め込まれた。対話システムは音声信号を検出すると発光ダイオードを明滅させはじめ、ロボットが応答を開始した時点で明滅を停止する。この発光ダイオードの明滅の役割は、ロボットが音声信号を受け取り、それを処理していることをユーザに示すことである。これにより、ユーザとロボットが同時に発話する発話衝突の抑制を狙っている。上記の先行研究における同様の実験では発話衝突が抑制されている。

この対話実験で用いた明滅パターンは、ランダム(0.033sec)、正弦波(0.5Hz)、明滅なし、方形波(15Hz)の4種類である。ランダム(0.033sec)は明滅パターン評価実験で最も低く評価されたものであり、正弦波(0.5Hz)は最も高く評価されたパターンである。方形波(15Hz)は対話実験に関する先行研究で用いられているものである。明滅パターンの提示時間は、参加者の発話時間+4秒である。処理遅延に0.4秒要するため、参加者の音声が消滅してから3.6秒間音声を検出されないとき、ロボットは参加者のターンが終了したと判断して発話を開始する。

参加者は椅子に座り、目の前のロボットと話をしホテルの部屋を予約するように指示された。システムの音声と参加者の音声を分離するため、参加者はヘッドホンを着用した。参加者は5つのホテル予約課題に取り組んだ。それぞれの課題では1つから3つの部屋の予約するが、1つずつ予約するか同時に予約するかは指示していない。全ての課題終了後、参加者は

対話に対する印象とロボットに対する印象、その他の質問についてのアンケートに回答した。参加者は男性26名、女性26名の合計52名であった。年齢は19歳から50歳(平均年齢は30.1歳, S.D.=9.4)であった。実験室の明るさは475LUXであり、発光ダイオードの明るさを調整するため1KΩの抵抗を直列に接続した。



図 3: 対話実験の様子と使用したロボット

表 2: 質問項目に対する評価の平均値

実験条件	こち良い	便利	使いたい	何秒で返事したか
正弦波	4.58	4.69	3.69	3.23
0.5Hz	(0.79)	(1.11)	(1.49)	(1.75)
方形波	4.31	4.77	4.46	2.92
15Hz	(1.18)	(1.54)	(1.85)	(1.31)
ランダム	4.23	3.62	3.92	2.77
0.033sec	(0.60)	(1.45)	(1.71)	(1.63)
明滅なし	—	3.00	3.23	4.35
	—	(1.73)	(1.92)	(2.83)

() 内は標準偏差

3.2 実験結果

参加者は発光ダイオードの光り方に関して「こち良い」か「こち良くない」かを7段階で評価した。また、ホテル予約システムに関して「便利-不便」、「使いたい-使いたくない」という質問項目に対し7段階の数値評価を行った。さらに、「ロボットは何秒くらいで返事をしてきたと思うか(小数点一桁まで)」という質問にも回答した。これらの結果を表2に示す。各質問項目ごとに分散分析を行ったところ、質問項目「便利」に有意差が認められた ($F_{3,48} = 4.428, p < .01$)。そこで、Tukey HSD法により多重比較を行ったところ、正弦波-明滅なし間 ($p = .026$) と方形波-明滅なし間 ($p = .018$) に有意差が認められた。

対話の印象に関する評価値に対して因子分析(プロマックス回転, 最尤法)を行い、スクリープロット参考に5因子を抽出した。因子分析の過程で因子負荷量の低い項目(明るい-暗い)を除外した。各条件の評価値と因子分析結果を表3に示す。これらの因子を形容詞対と先行研究[船越09a]に基づいて解釈し、それぞれ「娯楽性因子」、「穏和性因子」、「安心性因子」、「親和性因子」、「リラックス因子」と名付けた。因子間の相関を表4に示す。回帰法によって因子得点を求め分散分析を行ったところ、安心性因子(第3因子)について有意差が認められた ($F_{3,48} = 3.372, p = .026$)。そこで、Tukey HSD法による多重比較を行ったところ、方形波-明滅なし間に有意差が認められ ($p = .027$)、方形波-ランダム間に有意傾向が認められた ($p = .078$)。いずれも方形波の方が高い得点を示している。この結果から、方形波を用いることでユーザに対話について安心な印象を与えられることが示唆された。

ロボットの印象に関する評価値に対して因子分析(プロマッ

表 4: 対話の印象評価における因子間相関

因子	1	2	3	4	5
1	1.00	0.60	0.40	0.42	0.28
2	0.60	1.00	0.66	0.52	0.49
3	0.40	0.66	1.00	0.50	0.38
4	0.42	0.52	0.50	1.00	0.43
5	0.28	0.49	0.38	0.43	1.00

表 6: ロボットの印象評価における因子間相関

因子	1	2	3	4
1	1.00	0.34	0.01	-0.19
2	0.34	1.00	-0.12	0.18
3	0.01	-0.12	1.00	0.08
4	-0.19	0.18	0.08	1.00

クス回転, 最尤法)を行った結果を表5に示す。分析の過程で因子負荷量の低い項目(責任感のある-責任感のない)を除外した。スクリープロット参考に4因子を抽出した。これらの因子を形容詞対と先行研究[船越09a]に基づいて解釈し、それぞれ「親和性因子」、「信頼性因子」、「謙虚性因子」、「剛健性因子」と名付けた。因子間の相関を表6に示す。回帰法によって因子得点を求め分散分析を行ったところ、どの因子についても有意差が認められなかった。この結果から、明滅パターンによる違いはロボットの印象に大きな影響を与えない可能性が示唆された。

4. 考察

発光ダイオードの「こち良さ」に関して、明滅パターン評価実験とホテル予約実験での結果を比較する。明滅パターン評価実験では、正弦波(0.5Hz)が最も評価値が高く、ランダム(0.033sec)が最も評価値が低いという結果が得られた。この2つの明滅パターンをホテル予約実験に用いた結果、これら2つの波形の評価値の平均はほぼ同程度となった。明滅パターン評価実験では評価値が大きく異っていたものが同程度になったことを考えると、明滅パターン自体よりもホテル予約タスクに注意が向けられていると考えられる。明滅パターン評価実験とホテル予約実験では、発光ダイオードの明滅提示時間、タスクの内容、参加者の年齢に違いがある。提示時間や年齢の違いについては今後分析を行う必要があるが、ここではタスク内容の違いに注目したい。ホテル予約実験では参加者の目的は予約であり、明滅パターンの「こち良さ」に関しては大きく注意が向けられないのではないだろうか。そのため、どのような明滅パターンであっても同程度の「こち良さ」に評価された可能性がある。

参加者が回答したロボットが返事するまでの時間を見ると、点滅が速い方形波とランダムの方が正弦波と比較してやや短くなっている。統計的な有意差は認められていないが、波形だけでなく明滅の速さも重要な要素となる可能性がある。

対話の印象に関して、因子分析を行ったところ「安心性因子」に因子得点の差が認められ、方形波の影響が示唆された。対話の安心性という意味では、言葉のやりとりの安定さ、つまり、自分の声確実にロボットに伝達されているかどうかと考えることができる。このような印象を与えるのに方形波を用いた明滅パターンが有効である可能性がある。この実験で採用した方形波の特徴は、明滅の切り替えが速い、明るさの変化が大きい、一定の間隔で明滅するといった点が挙げられる。このような特徴が、対話という文脈では言葉の確実な伝達を連想させるのかもしれない。また、ホテル予約タスクを用いた先行研究[船越09a]においても、方形波を用いた発光ダイオードの明滅が対話に対して安心な印象を与えている。

ロボットの印象に対しては、明滅パターンは大きく影響を与えないことが因子分析の結果から示唆された。上記のように、明滅パターンが対話における言葉のやりとりの確実さに影響を与えているとすれば、性格に関する形容詞を多く含むロボットの印象に対して大きな影響を与えない可能性がある。しりとり

表 3: 対話の印象評価における評価値と因子分析結果 (プロマックス, 最尤法)

項目	ボジティブ	ネガティブ	正弦波		方形波		ランダム		明滅なし		因子				
			平均値	S.D.	平均値	S.D.	平均値	S.D.	平均値	S.D.	1	2	3	4	5
	面白い	つまらない	4.15	1.63	5.15	1.57	4.46	1.76	3.92	1.61	0.95	-0.21	-0.02	0.07	-0.03
	興味深い	退屈な	5.54	0.78	5.69	0.95	5.31	1.44	4.77	1.59	0.85	-0.08	-0.05	-0.01	0.03
	愉快な	不愉快な	4.15	1.21	4.77	0.93	4.15	1.07	3.92	1.19	0.60	0.28	0.02	-0.03	-0.16
	わかりやすい	わかりにくい	4.15	1.41	4.69	1.44	3.85	1.63	4.00	1.87	0.54	-0.01	0.28	-0.18	0.08
	落ち着いた	落ち着かない	3.69	1.18	4.31	1.49	4.08	1.12	3.69	1.49	-0.13	0.95	0.00	-0.01	-0.07
	好きな	嫌いな	3.92	0.86	4.62	1.39	4.00	1.29	3.54	1.90	0.32	0.67	-0.09	0.08	-0.01
	元気がでる	疲れる	3.15	0.80	3.38	1.12	3.23	0.73	3.15	1.34	-0.05	0.56	0.38	-0.10	-0.02
	得意な	苦手な	3.69	0.85	4.31	1.38	3.69	1.03	3.69	1.70	0.18	0.55	0.11	0.02	0.23
	ゆったりとした	せわしない	4.77	1.30	4.62	1.04	5.31	0.95	4.15	1.46	-0.16	0.49	0.27	0.03	-0.09
	おだやかな	いらいらする	3.69	1.49	4.85	0.99	3.62	1.19	3.23	1.42	0.10	0.20	0.87	-0.05	-0.21
	感じのよい	感じのわるい	4.15	1.14	5.31	0.85	4.23	0.93	4.38	1.19	0.07	-0.21	0.62	0.29	0.05
	安心な	不安な	3.38	1.12	3.85	1.46	3.08	0.95	2.92	1.66	-0.05	0.16	0.61	0.09	0.13
	円滑な	ぎこちない	3.31	1.25	4.15	1.52	2.77	1.42	2.69	1.65	-0.04	0.25	0.57	-0.08	0.13
	暖かい	冷たい	3.00	1.22	4.23	1.24	3.54	1.39	3.23	1.36	-0.04	-0.01	0.04	1.04	-0.11
	うちとけた	かたくならしい	3.15	1.14	3.92	1.66	3.54	1.39	2.77	1.59	0.05	0.27	0.16	0.46	0.19
	リラックスする	緊張する	3.31	0.63	3.46	1.27	3.23	0.73	3.69	1.65	0.01	0.04	-0.17	-0.06	0.88
	気軽な	重厚な	3.38	0.96	4.00	1.35	3.31	0.85	3.69	1.44	-0.09	-0.19	0.32	-0.06	0.52

表 5: ロボットの印象評価における評価値と因子分析結果 (プロマックス, 最尤法)

項目	ボジティブ	ネガティブ	正弦波		方形波		ランダム		明滅なし		因子			
			平均値	S.D.	平均値	S.D.	平均値	S.D.	平均値	S.D.	1	2	3	4
	うきうきした	沈んだ	3.46	1.20	4.00	0.82	3.54	1.05	3.85	1.21	0.79	-0.10	-0.12	0.10
	感じのよい	感じのわるい	4.15	0.69	4.85	1.14	4.00	0.71	4.85	1.52	0.78	-0.30	0.42	0.27
	親しみやすい	親しみにくい	4.08	1.38	4.38	1.33	3.77	1.09	4.00	1.29	0.73	0.19	0.01	0.01
	人のよい	人のわるい	4.31	0.63	4.62	0.77	4.15	0.80	4.15	0.90	0.68	-0.01	0.09	0.00
	かわいらしい	にくらしい	4.31	1.03	4.54	0.78	4.08	0.76	4.08	0.86	0.67	-0.12	0.11	-0.19
	ひとなつこい	近づきたくない	3.54	0.88	3.92	1.32	3.31	0.95	3.62	1.56	0.61	0.25	0.02	-0.25
	社交的な	非社交的な	3.38	0.96	4.38	1.26	4.00	1.22	3.54	1.27	0.50	0.20	-0.09	-0.12
	積極的な	消極的な	4.31	0.63	5.00	0.82	3.92	0.76	3.85	1.34	0.49	0.37	-0.24	0.12
	意欲的な	無気力な	3.92	0.76	4.85	0.69	4.31	0.85	3.62	1.19	0.48	0.40	-0.20	0.18
	心のひろい	心のせまい	3.92	0.76	4.38	0.77	4.31	0.95	4.15	0.99	0.48	0.15	0.19	-0.45
	慎重な	軽率な	5.08	0.76	4.69	0.75	4.85	0.99	4.85	1.21	-0.39	0.07	0.38	0.32
	気長な	短気な	4.69	0.85	4.31	0.95	4.92	1.50	4.62	1.12	-0.07	0.80	0.22	-0.17
	自信のある	自信のない	4.69	0.95	4.92	0.86	4.85	1.46	4.69	1.11	-0.09	0.66	0.20	0.23
	親切な	不親切な	4.08	0.95	3.92	1.00	4.15	0.69	4.31	0.95	0.17	0.36	0.12	0.01
	慎重深い	恥しらずの	4.31	0.85	4.31	0.95	4.38	0.65	5.00	1.00	-0.28	0.29	0.79	0.11
	なまいきでない	なまいきな	4.31	0.85	4.69	1.25	4.54	0.97	4.85	1.63	0.36	-0.09	0.76	-0.20
	分別のある	無分別な	4.15	0.80	4.92	1.75	4.62	0.96	4.92	1.04	0.07	0.29	0.58	0.14
	堂々とした	卑屈な	5.23	1.09	6.00	1.00	4.62	1.26	5.38	1.04	0.21	0.25	0.02	0.59
	重厚な	軽薄な	5.00	1.00	5.00	1.15	4.31	0.85	5.38	1.45	-0.18	-0.03	0.11	0.48

タスクを用いた先行研究 [船越 09b] では, 発光ダイオードの有無によるロボットの印象への影響を調査しており, 誠実な印象を与えるのに方形波の明滅が有効だという結果を得ている. この「ロボットの誠実さ」と「対話の安心性」については, 言葉のやりとりの確実さという点で関連があるように思われる. 今回の実験では, しりとりよりも作業が複雑なホテル予約を採用しており, 参加者の関心がロボット自体の印象よりも目的に直結した「対話の安心性」にシフトしていると解釈することもできる.

これまで著者らが用いてきた明滅パターンは方形波 (15Hz) である. 今回の実験では, 明滅パターンの違いによる印象評価への影響を調査したが, 偶然にもこれまで使用してきた明滅パターンが効果の高いものであった可能性がある. これまで行った実験タスクはどれも対話であり, 使用してきた 15Hz の方形波は特に対話を行う文脈で有効であるかもしれない. 発光ダイオードの明滅は抽象的であり, 文脈の影響を受けやすいと考えられる. 今後, 文脈による意味の変化をはじめ, タスクによる違いやロボットの外見による違いなどを調査する必要がある.

5. まとめ

本研究では, Artificial Subtle Expression (ASE) による発光ダイオードの明滅パターンの違いが, 対話やロボットに対するユーザの印象に及ぼす影響を調査した. 予備実験として, 発光ダイオードによる 13 種類の明滅パターンの「ここち良さ」を調査する実験を行った. その中から最も評価の高いものと低いものを選び, ロボットとの対話実験で用いた. 対話実験では, 正弦波 (0.5Hz), 方形波 (15Hz), ランダム (0.033sec), 明滅なしの 4 条件を設定し, 実験参加者にホテル予約課題を行わ

せた. 実験後に実施したアンケートを分析したところ, 「ここち良さ」に関しては正弦波, 方形波, ランダム間で評価値に大きな差はなく, 統計的にも有意差は認められなかった. また, 明滅なし条件に対して正弦波条件, 方形波条件がそれぞれ有意に「予約システムが便利である」と評価された. さらに, 対話の印象に関して因子分析を行ったところ, 方形波が対話に対して安心な印象を与えることが示唆された.

ASE の利点はコストを抑えた実装が可能であり, ユーザが事前知識なしに直観的に理解できる点である. これらの明滅パターンの違いが発話衝突回数に与える影響については現在分析中であり, 理解しやすさと印象の関係について明らかにすることは今後の課題である. また, 実装コストを考えたとき, 効果が特定の明滅パターンに強く依存していないことが理想である. 今後, タスク達成の側面やユーザに与える印象といった側面からこの問題に取り組む予定である.

参考文献

- [Komatsu 10] Komatsu, T., Yamada, S., Kobayashi, K., Funakoshi, K., and Nakano, M.: Artificial Subtle Expressions: Intuitive Notification Methodology of Artifacts, in *Proc. of the 28th ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2010)*, pp. 1941–1944 (2010)
- [船越 09a] 船越 孝太郎, 小林 一樹, 中野 幹生, 小松 孝徳, 山田 誠二: 対話の低速化と Artificial Subtle Expression の適用による発話衝突の抑制, HAI シンポジウム 2009, 1A-4 (2009)
- [船越 09b] 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, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J92-A, No. 11, pp. 818–827 (2009)