

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 10 日現在

機関番号：13601  
 研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2011～2012  
 課題番号：23700248  
 研究課題名（和文） 人工エージェントの内部状態を直観的かつ正確に伝達する低コストな表現手法の提案  
 研究課題名（英文） Proposing intuitive, accurate and low-cost notification methodology of artificial agents' internal states  
 研究代表者  
 小松 孝徳（KOMATSU TAKANORI）  
 信州大学・繊維学部・准教授  
 研究者番号：30363716

研究成果の概要（和文）：本研究では、「単一モダリティでシンプルに構成され、コミュニケーションにおける主たるプロトコルに干渉することなくエージェントの内部状態を直観的かつ正確にユーザに伝達できる表現」を ASE と定義した。その必要十分条件は「シンプル」「補完的」という設計的要件および「直感的」「正確」という機能的要件の二種類に分けられる。そこで、ユーザに情報を発信するロボットに「シンプル」「補完的」という二つの設計的要件を満たした人工音を実装し、その人工音に関する事前知識を持たないユーザによりその意図が「直感的」「正確」に解釈されていたのか、つまり機能的要件が満たされていたのかを実験的に検証した。具体的には、実装した人工音がエージェントの内部状態をユーザに直観的かつ正確に伝達できることを検証し、この人工音が ASE の必要十分条件を満たす一つの実例であることを示した。

研究成果の概要（英文）：We describe artificial subtle expressions (ASEs) as intuitive notification methodology for artificial agents especially in order to convey their internal states for users. We prepared two types of audio ASEs; one is a flat artificial sound (flat ASE), and the other is a decreasing sound (decreasing ASE). These two ASEs were played after a robot made a suggestion to the users. Specifically, we expected that the decreasing ASE will inform users of the robot's lower confidence about the suggestions. We then conducted a simple experiment to observe whether the participants accepted or rejected the robot's suggestion in terms of the ASEs. The result showed that they accepted the robot's suggestion when the flat ASE was used, while they rejected it when the decreasing ASE was used. Therefore, we found that the ASEs succeeded in conveying the robot's internal state to the users accurately and intuitively.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：感性情報学

科研費の分科・細目：情報学，感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：感性情報学，感性インタフェース，ユーザインタフェース，認知科学

## 1. 研究開始当初の背景

人間同士のコミュニケーションにおける意味の伝達は、発話などの言語情報により明示的に行われることが多いが、それ以外の顔の表情、視線、身振りなどの非言語情報および

音声の高さや大きさといったパラ言語情報もコミュニケーションにおいて重要な役割を果たしている指摘されている。これら非言語情報およびパラ言語情報において、それらの些細な変化が人間同士のコミュニケー

ションにおいて重要な役割を果たしていることが指摘されており、それらは subtle expression と呼ばれている。そこで、subtle expression に相当する表現をエージェントから表出し、ユーザに対してその内部状態を伝達することで人間とエージェントとの間に円滑なインタラクションの構築を目指した研究が注目されているものの、これらのアプローチでは、まず細やかな表情やジェスチャを表現するシステムをエージェントに実装してから subtle expression を出力する必要があるために、その開発および実装コストが非常に高くなるといった問題がある。

## 2. 研究の目的

そこで申請者は、人間的な表現によらずともエージェントから非常に単純な表現を出力することで、人間の subtle expressions と同様に情報発信者の内部状態を人間に直感的に伝達できると申請者は考え、そのような表現を artificial subtle expression (ASE) と名付けた。しかしこれまでの申請者の一連の研究では、「ASE とは、人工物が出力する単純であるが効果的な表現である」との言及にとどまっており、具体的にどのような要件を満たす表現が ASE なのかということは明確にされていない。そこで本研究ではまず、ASE が満たすべき設計的要件および機能的要件を提案する。そして、その設計的要件を満たすピープ音のような人工音を実装してその人工音をユーザに対して出力することでエージェントの内部状態を直感的かつ正確に伝達できていたのか否かを、すなわち、実装された人工音が機能的要件を満たしていたのか否かを実験的に検証する。

## 3. 研究の方法

### 【平成 23 年度】

ある表現が ASE であるための具体的な要件を設計的要件および機能的要件に分けて提案する。そして提案された要件を満たした表現を実際に人工エージェントに実装し、その表現をユーザに対して出力することで人工エージェントの内部状態をユーザに対して直観的かつ正確に伝達できたか否を調査するための実験環境を構築する。

### 【平成 24 年度】

平成 23 年度に構築した環境を用いて、実際に実験を実施する。この実験結果から、低コストにて実現された ASE によって人工エージェントの内部状態がユーザに対して直観的かつ正確に伝達できれば、ASE の有効性が確認されたといえる。さらに、ASE の解釈が人間的表現を出力した場合と比べてどのように異なるかを把握することで、人工エージェントが出力するのにふさわしい表現につい

ての具体的な設計指針を得ることができる。

## 4. 研究成果

### 【平成 23 年度】

まず申請者は、人間の表情や視線の動きなどに現れる subtle expressions を人工的に再現したものを ASE と考えるのではなく、エージェントなどの人工物に適した表現としての ASE を目指した。ここから、「単一モダリティでシンプルに構成され、コミュニケーションにおける主たるプロトコルに干渉することなくエージェントの内部状態を直感的にかつ正確にユーザに伝達できる表現」を ASE と定義する。そして、ASE の必要十分条件は、以下に示す二つの設計的要件および二つの機能的要件を全て満たすことである。まず、具体的な設計的要件として以下の二つが挙げられる。これらの設計的要件は、ASE の設計段階で満たされるべき要件である。

- 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、結果的に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。

ASE はこれら二つの設計的要件を満たすだけでなく、以下の二つの機能的要件も満たす必要がある。これらの機能的要件は、設計段階では満たされるかどうかはわからず、実際に設計的要件を満たした表現を用いて実験的に検証されるべき要件である。

- 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。本研究においては、ASE に関する説明を何も受けていないにも関わらず、その解釈が行われていた場合、直感的な解釈がされたとみなす。
- 正確：設計者の意図した特定の意味が、その意図通りにユーザに伝達される。先にも述べたように、ASE はエージェントの内部状態をユーザに伝達する。

本研究では音表現として実装された ASE に注目して、その有効性を実証する。

ユーザの人工音に対する反応を観察する実験環境として宝探しゲームを提案した(図 1)。このゲームでは、画面の奥に設定されたゴールに向かって道を進んでいくと、三つの盛り土が現れる。この三つの盛り土のうち一つには金貨が隠されており、その金貨をできるだけ多く集めることが実験参加者のタスクとして与えられる。三つの盛り土のいずれかに隠された金貨の位置は、ランダムに設定される。三つの盛り土はゴール到着まで合計 20 回現れ、スタートからゴールまでの所要時

間はおよそ三分程度であった。



図 1：宝探しゲーム

ゲーム中に画面が三つの盛り土の前に到着すると、実験参加者の横に置かれたエージェント (MindStorms ロボット：LEGO 社製) から、そのエージェントが予想した金貨が隠された盛り土の位置が、一度だけ人工音声にて参加者に伝えられる (例。「いちばん」、「にばん」もしくは「さんばん」という音声のいずれか一つが発信される)。つまりエージェントから参加者に対して予想が伝えられる回数は 1 ゲームプレイにおいて 20 回と設定された。エージェントの役割に関しては実験前の教示にて「このエージェントは、ゲームの状態を把握することができ、コインの位置を『ある程度』の確率で推定できる」と説明した。ただし、その際にどのような方法でゲームの状態を把握しているのか、また『ある程度』の確率とは具体的にどのくらいなのかという点には言及しなかった。実験参加者はこのエージェントの予想通りの盛り土を選んでも、予想と違うものを選んでもよいと教示される。

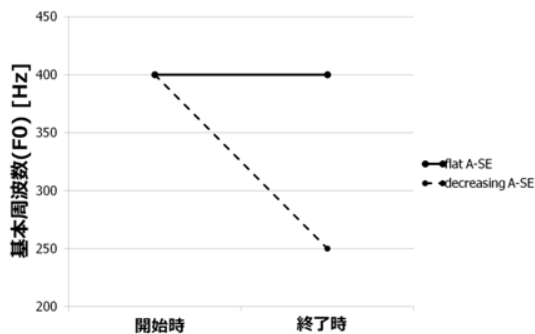


図 2：flat ASE と decreasing ASE

本実験では、エージェントであるロボットが人工音声を出力した直後に人工音声を出力した。出力される人工音声は、「いちばん」「にばん」「さんばん」という三種類のうちの一つである。そして、これらの人工音声の 0.2 秒後に、人工音声を出力した。人工音は二種類

用意され、一つは提示時間 0.5 秒の三角波で基本周波数が 400 [Hz] で一定のもの、もう一つは提示時間 0.5 秒の三角波で基本周波数が 400 [Hz] から 250 [Hz] に減少するものである (図 2)。

これらの人工音の音色は、コンピュータで用いられるピープ音に類似している。前者の音声を flat ASE、後者を decreasing ASE と呼ぶ。本実験におけるエージェント実験参加者との間における主たるプロトコルは、エージェントの予想した盛り土の位置を参加者に伝えることであり、補完的なプロトコルはその際のエージェントの内部状態 (発信した情報に対する確信度) を伝えることである。エージェントの発する人工音声の後に人工音を付与することにより、同じ音モダリティであるが、時間的な重なりを避けている。これにより、人工音が主たるプロトコルを阻害しないため、ASE の設計的要件のうち、「補完的」という要件が満たされている。またこの内部状態の表現は音という単一モダリティ上に実装されているため、「シンプル」という設計的要件も満たしているといえる。ここから、本実験で使用する人工音は「シンプル」「補完的」という ASE の二つの設計的要件を満たしているとみなすことができる。よって、残る二つの機能的要件をこの表現が満たすことを確認するために、この人工音をユーザに出力することで人工音を持つ意図 (発信した情報に関する確信度) が「直感的」「正確」に解釈されていたのかを実験的に検証することができる。

【平成 24 年度】

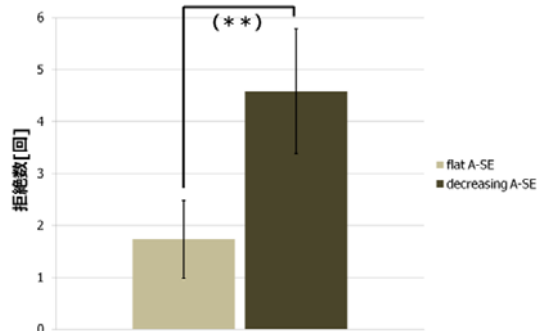


図 3：ASE ごとの拒絶数

人工音声の直後に出力される人工音が、実験参加者の行動にどのような影響を与えていたのかを調査するために、実験において参加者がエージェントの予想を拒絶した回数を拒絶数として計測した。この拒絶数は、20 試行中における 10 回の flat ASE 提示の場合および 10 回の decreasing ASE の場合ごとに計測された。その結果、flat ASE が付与された予想に対する平均拒絶数は 10 回中 1.73 回 (SD=1.51)、decreasing ASE が付与された予想に対する平均拒絶数は 10 回中 4.58 回

(SD=2.43) であった (図 3).

一要因二水準 (要因: 人工音の種類, 水準: flat/decreasing, 従属変数: 拒絶数) の被験者内計画の分散分析の結果, flat ASE と decreasing ASE が付与された予想に対する拒絶数に統計的有意差が観察された ( $F(1, 18)=13.38, p<.01 (**)$ ).

つまり, decreasing ASE が付与された人工音声による予想は, 実験参加者にとって拒絶される確率が有意に高いことが明らかになった. よって, 本実験においては人工音の役割や存在そのものについて参加者は何一つ知らないにも関わらず, 「人工音の意味は予想に対する確信度」だと直感的かつ正確に解釈していたことが明らかになった. ここから, 前節で予想したような実験結果 (「flat ASE が付与された人工音声によるエージェントの予想は参加者に受け入れられ, decreasing ASE が付与されたエージェントの予想は参加者に拒絶される」) が確認された. ここから, 本実験で使用した「シンプル」「補完的」という設計的要因を満たした人工音は, 「直感的」「正確」という二つの機能的要件を満たしていることが確認された. よって, 本研究で提案した四つの要件に基づいて実装された人工音は, ASE の必要十分条件を満たす一つの実例であることが確認された.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ①. 寺田和憲・山田誠二・小松孝徳・小林一樹・船越孝太郎・中野幹生・伊藤昭 (2013). 移動ロボットによる Artificial Subtle Expressions を用いた確信度表出, 『人工知能学会論文誌』, vol. 28 (3), 311-319. 査読有. DOI:<http://dx.doi.org/10.1527/tjsai.28.311>
- ②. 小松孝徳・山田誠二・小林一樹・船越孝太郎・中野幹生 (2012). 確信度表出における人間らしい表現と Artificial Subtle Expressions との比較, 『人工知能学会論文誌』, vol. 27 (5), 263-270. 査読有. DOI:<http://dx.doi.org/10.1527/tjsai.27.263>
- ③. 船越孝太郎・小林一樹・中野幹生・小松孝徳・山田 誠二 (2011). 対話の低速化と Artificial Subtle Expression による発話衝突の抑制, 『人工知能学会論文誌』, vol. 26 (2), 353-365. 査読有. DOI:<http://dx.doi.org/10.1527/tjsai.26.353>

[学会発表] (計 6 件)

- ①. Kobayashi, K., Funakoshi, K., Yamada, S., Nakano, M., Komatsu, T. and Saito, Y. (2012). Impressions Made by Blinking Light Used to Create Artificial Subtle Expressions and by Robot Appearance in Human-Robot Speech Interaction, In Proceedings of the 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2012), pp. 215 - 220. 査読有, フランス・パリ Arts et Métiers ParisTech, 2012/9/10
- ②. Komatsu, T., Kobayashi, K., Yamada, S., Funakoshi, K., and Nakano, M. (2012). C How Can We Live with Overconfident or Unconfident Systems?: A Comparison of Artificial Subtle Expressions with Human-like Expression, In Proceedings of the 34th annual meeting of the Cognitive Science Society (CogSci2012), pp. 1816-1821. 査読有, 札幌市 札幌コンベンションセンター, 2012/8/2
- ③. Komatsu, T., Kobayashi, K., Yamada, S., Funakoshi, K., and Nakano, M. (2012). Can Users Live with Overconfident or Unconfident Systems?: A Comparison of Artificial Subtle Expressions with Human-like Expression, In Extended Abstract of the ACM-CHI2012 (in work-in-progress session), pp. 1595-1600. 査読有, 米国・オースティン Austin Convention Center, 2012/5/8
- ④. Komatsu, T., Yamada, S., Kobayashi, K., Funakoshi, K., and Nakano, M. (2011). Interpretations of Artificial Subtle Expressions (ASEs) in Terms of Different Types of Artifact: A Comparison of An On-screen Artifact with A Robot, In Proceedings of the 4th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII2011), pp. (2) 22-30. 査読有, 米国・メンフィス FedEx Institute of Technology at the University of Memphis, 2011/10/10
- ⑤. Kobayashi, K., Funakoshi, K., Yamada, S., Nakano, M., Komatsu, T. and Saito, Y. (2011). Blinking Light Patterns as Artificial Subtle Expressions in Human-Robot Speech Interaction, In Proceedings of the 20th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2011), pp. 181-186. 査読有, 米国・アトランタ Renaissance

Atlanta Hotel, 2011/8/2

⑥. Komatsu, T., Yamada, S., Kobayashi, K., Funakoshi, K., and Nakano, M. (2011). Effects of Different Types of Artifacts on Interpretations of Artificial Subtle Expressions (ASEs), In Extended Abstract of the ACM-CHI2011 (in work-in-progress session), pp. 1249-1254. 査読有, カナダ・バンクーバー Vancouver Convention Centre, 2011/5/8

[その他]

ホームページ等

<http://www.tkomat-lab.com>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小松 孝徳 (KOMATSU TAKANORI)

信州大学・繊維学部・准教授

研究者番号：30363716

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし