

# 鑑賞者が好意を持って接することができる 博物館ガイドロボットの振舞いに関する考察

阿部和彦<sup>†</sup> 赤嶺裕樹<sup>†</sup>  
山下 淳<sup>†</sup> 葛岡英明<sup>†</sup> 山崎敬一<sup>††</sup>

本論文は博物館ガイドロボットシステムのための垂直同期信号を利用したLED光識別方式の観賞者識別手法の設計及び実装と、ガイドロボットが観賞者への質問を行う際、どのようにして回答者を指名することが人-ロボットコミュニケーションにおいて効果的かということについて調べた。

その結果、指差しと名指しを併用して指名することが、観賞者にとって一番望ましい指名方法であることが明らかになった。

## Study on the Guide Robot which can Treat to Observers with Favorably

Kazuhiko Abe, Yuki Akamine,  
Jun Yamashita, Hideaki Kuzuoka, Keiichi Yamazaki

In this paper, recognition system which use IR LED which blinks in synchronization with video GenLock signal and impact to observer of museum guide robot are described. Especially in this paper, how the guide robot should treat to the observer with favorably.

In the result, when guide robot asks to the observer in the museum, the result of the research revealed to us that the guide robot needs to use both pointing with arm and call observer's name.

## 1. はじめに

### 1.1 研究の背景

従来、博物館における鑑賞活動は展示物を見ながらパネルの解説を読むという形態が一般的であった。しかし近年ではあえて多くの情報を提供せず、鑑賞者の自発的学習を促すような展示形態が多くとられている。例えば竹橋の科学技術館ではブロックを積み上げ、実際に水を流すことによってダム仕組みを学ぶという展示が行われている[1]。このようなアトラクション型の展示物の場合、鑑賞者同士のコミュニケーション促進を目的の一つとしていることが多い。展示物に関する情報を共有することで、より深い理解や興味を得ることができるからである[2]。この新しい展示に対応した情報提示方法としてガイドロボットを用いた案内が研究されてきた[3]。ロボットという共通の対象に複数の鑑賞者が同時に注目することで共同注意[4]と呼ばれる状態を発生させ、コミュニケーションの促進効果を得ることができる。しかし、ロボットを用いた案内の短所として、鑑賞者のガイドに対する注意が散漫になりやすいということが指摘されている[5]。これは一方的な説明によって鑑賞者が退屈を感じてしまうことが原因だと考えられる。この問題に対して人間の学芸員が説明を行う際は、鑑賞者に対して展示物に関連した質問をすることで注意を引きつけるという工夫がとられている。博物館学においては対話的鑑賞法という鑑賞方法が提案されている[6]。これは学芸員と鑑賞者が展示物を話題とした対話を行うことで知識を深めるという方法で、展示物への興味を増加させる効果もあると報告されている。

また、ロボットが説明を行う際は、説明相手となる鑑賞者を認識することが必要である。この人認識には従来、OpenCVなどによる顔認識が多く用いられてきた。この方法は取得画像の中から人を判別することはできても、個人識別まで行うことは難しい。そのため先行研究では複数の鑑賞者の中からいずれか一人を選んでロボットがコミュニケーションを行うといった状況がほとんどであった。しかし、鑑賞者間のコミュニケーションをより促進させるためにはロボットが全ての鑑賞者と均等にコミュニケーションをとることが望ましい。このような多人数-ロボット間コミュニケーションにおける知見は不足していると言える。

### 1.2 研究の目的

本論文ではガイドロボットを用いた展示案内における問題点に対して、『展示物に関する質問を行う』という解決策を提案する。この方策には1.対話的鑑賞法による興味喚起、2.共通話題によるコミュニケーション誘発、3.問いかけによる集中の引き付けという3つの効果が期待できる。そこで本研究では、どのような回答者指名方法がこれらの効果を達成するうえで効果的かということをはっきりと明らかにする。この目的のため

には 1.説明および質問が可能なロボットの配置、2.個人識別および位置認識を可能とする手法の開発、3.ロボットの行動が鑑賞者心理に与える影響の調査という 3 要件の達成が必要となる。このうち 1.説明および質問が可能なロボットの配置に関しては同研究室で開発された展示案内用ロボットを用いた。本論文では残る 2 つの要件に関して述べる。

## 2. 垂直同期回路を用いた個人識別システム

### 2.1 アイデアの概念

本システムは垂直同期信号検出回路と ZigBee を搭載した送信モジュール一台、PIC マイコンと ZigBee,LED を搭載した受信モジュール複数台、LED 撮影用ビデオカメラ、サーバ用 PC から構成される。システムの概要図を図 1 に示す。送信モジュールには垂直同期出力素子 LM1881N が搭載されており、入力したカメラの映像信号によってフレームレートと同期して信号を送信することができる。受信モジュールには赤外線発光 LED が搭載されており、受信した信号に応じて発光する。この様子を IR パスフィルタを通して撮影し、画像処理（前画像差分、二値化、重心計算）を行うことで各受信モジュールの特定と位置認識を行う。

### 2.2 送受信の仕組み

送信モジュールは送信信号に[0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,.;,;<=>?]のうちいずれか一つを ID として付加する。ID は 1 フレームごとに一つ右へ遷移し、"??"の次は"0"に戻る。信号は全ての受信モジュールとサーバ PC に接続された ZigBee に対してブロードキャスト送信される。受信モジュールにはディップスイッチが搭載されており、モジュール毎の ID をセットすることができる。このセットされた ID と受信した ID が一致した時のみ LED が発光する。

### 2.3 状態遷移

本システムの状態遷移の様子を図 2 に示す。カメラのキャプチャが開始されていない時点では信号が送信されていないため、どの受信モジュールの LED も点灯していない。カメラが 1 フレーム目を取得する際に"1"という信号が送信される。この信号に応じて ID1 がセットされた受信モジュールのみが点灯する。次の 2 フレーム目では"2"という信号が送信されるため、ID1 の LED は消灯し ID2 の LED が点灯する。同様に 3 フレーム目では ID3 の LED のみが点灯する。このように状態遷移を行うことで各モジュールが競合することなく、一定の周期で LED を発光させることができる。

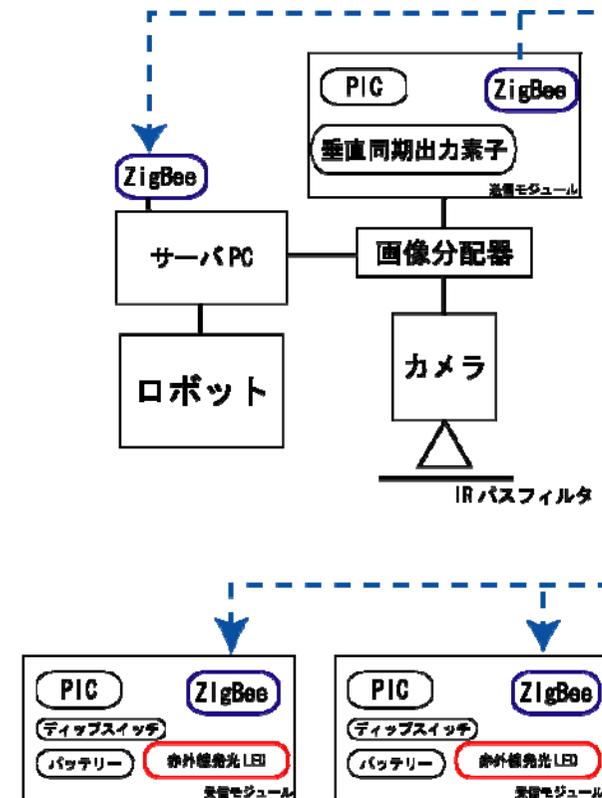


図 1: システム概要図

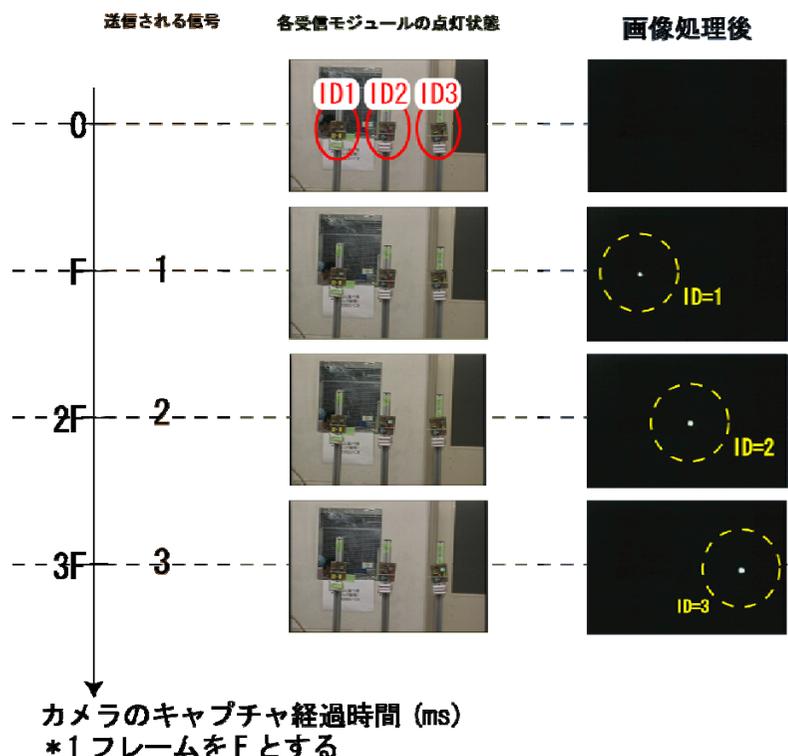


図 2:LED 発光の状態遷移図

## 2.4 性能評価

本システムでは各鑑賞者が受信モジュールを装着することで鑑賞者の特定と位置認識を行う。そのため受信モジュールをヘッドフォンに埋め込んだ。ヘッドフォンに内蔵した理由としては

- ・LEDの照射方向と観賞者の視線が一致していること
- ・装着が容易で年齢性別によるサイズ分けが不要なこと

の二点が挙げられる。前者についてはロボットの視線と同じ方向を向いてLED撮影用カメラが設置されていることを前提としている。カメラとロボットの視線の向きを同じとした理由は、もしロボットの視線とは別の方向にカメラを設置しLED光が認識されても、観賞者の視線がロボットに向いていなければ説明を聞いているとは考えにくいからである。LEDの照射方向と観賞者の視線方向が一致するように装着するこ

とで、LED(=観賞者の視線)が認識できたとき観賞者はロボットに注目していると捉えることができる。

実装した受信モジュール内蔵ヘッドフォンに対して3つの性能評価実験を行った。この結果に関して以下に記す。

### 2.4.1 時間遅れ

本システムにおいては各LEDが光った時点の送信IDを制御PCが時間遅れを生ずることなく取得できることが必要となる。今回用いたビデオカメラのフレームレートは29.97(fps)であり、画像処理と無線通信を含むプログラムの1ループあたりに要する時間は約13(ms)であった。LEDの点灯時間を30(ms)に設定したところ、ID取得の時間遅れおよび背景差分を取得する上での障害は発生しなかった。

### 2.4.2 有効距離

本システムの実験環境でロボットと観賞者の距離は2(m)を想定している。そのためカメラと観賞者が2.5(m)前後離れた状況でLED光が認識可能でなければならない。現システムが識別可能な最大有効距離を測定したところ3.9(m)であった。測定は蛍光灯を点けた室内で行ったが、室内であれば外光を採り入れた状態でも問題なく可能であった。

### 2.4.3 有効角度

観賞者はロボットだけでなく説明対象となる展示物へも視線を向けるため、常にカメラとLEDが正対しているわけではない。カメラ高さと観賞者の身長の違いなどによってもLED照射方向とカメラの向きにズレが生じる。今回用いたLED:HIRL5040の照射角度は±25[deg]である。照射角度を拡張するため、レジンキャストを用いて光拡散部品を作成した。この結果、カメラから水平方向に40[deg]傾けた状態でもLED光の取得が可能となり、認識の許容範囲が増加した。

## 3. 実験

### 3.1 実験概要

本実験における目的は『3種類(指差し、名指し、指差し+名指し)の回答者指名方法が観賞者心理に与える影響を明らかにする』ことである。観賞者には2章で述べた受信モジュール内蔵ヘッドフォンを装着した上で、ロボットの説明及び質問に答えてもらった。実験の概要図を図3に示す。観賞者は4人一組とし6組24人に対して実施した。3種の指名方法は被験者内配置によって順序効果を相殺している。ロボットの音声はスピーカーから出力されるが、ヘッドフォンによるロボット音声の聞き取りにくさを防ぐためにライン出力も同時に行う。観賞者同士の会話の聞き取りがヘッドフォン装着によって阻害されないことを各実験前に確認した。ロボットの行動は

WoZ法を用いて作業者が操作した。作業者の担当した部分は実験の進行に応じて各説明パートの実行ボタンを押すことである。作業者の姿は観賞者から直接見えないようになっており、ロボットの操作を作業者が行うことも事前に説明はしていない。

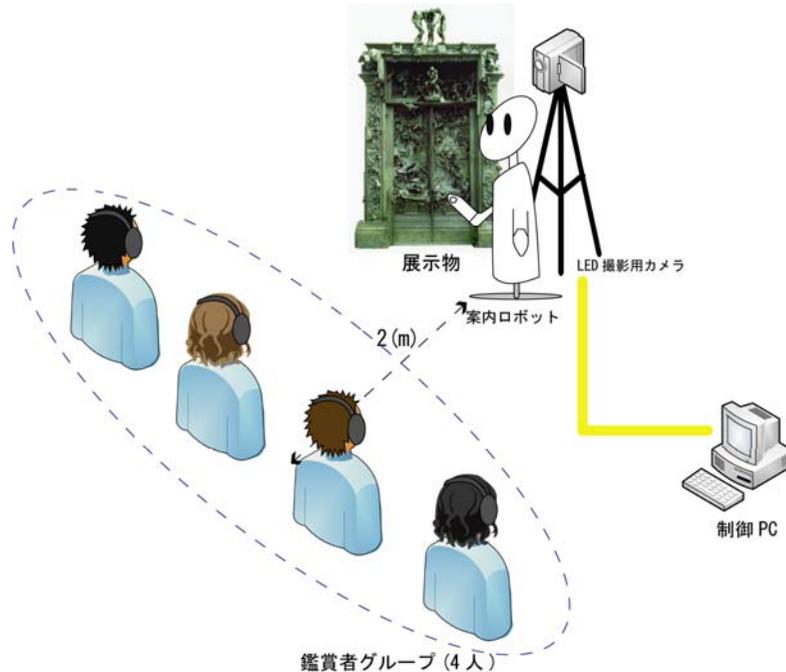


図 3: 実験概要図

### 3.2 実験内容

#### 3.2.1 回答者の指名方法

コミュニケーション手法は言語によるものと非言語によるものに二分することができる。そこで回答者の指名は言語を用いた方法である名指し手法、非言語であるジェスチャーを用いた方法である指差し手法、指差しと名指しを併用した両方手法で行った。それぞれの動作内容に関しては次の通りである。

- ・指差し手法・・・ロボットは回答者のほうに体と手先を向け、「そちらの方、お答えください」と発話する。
- ・名指し手法・・・ロボットは正面に体を向けたまま動かず、観賞者名を呼んで回答者を指名する
- ・両方手法・・・指差し手法と名指し手法を組み合わせた方法。ロボットは回答者の

ほうに体と手先を向け、観賞者名を呼んで回答者を指名する。

#### 3.2.2 実験の流れ

各被験者グループに対して3通りの回答者指名方法で仮想展示物に対する説明と質問を行った。各試行後に印象評価アンケートを実施し、3回目の試行終了後には印象評価に加えて3条件の順位付けによるアンケート調査を行った。また、ポストテストを実施することで知識定着度を測定した。

#### 3.2.3 評価手法

各試行の後にはSD法による形容詞対による印象評価を行った。(良い-悪い)、(親しみやすい-親しみにくい)など対極の意味を表す形容詞対を28組用いた。評価に当たってはリッカート尺度を用いてポジティブな形容詞が高くなるように1から7までを数値化して比較を行った。このうち5つの形容詞対において有意な差を確認した。ここで得られた結果の各項目に関して分散分析を行い、全体に対して因子解析を行った。

また、3回目の試行後には『ロボットが自分に向けて説明していることをハッキリ感じた順番』、『回答を述べる時、緊張を感じた順番』など3条件の順位付けによる印象評価を行った。

24人中16人に対しては順位付けによる印象評価後にポストテストを課し、ガイドの説明に対する知識定着度の調査を行った。テストの内容は実験中にガイドロボットが行った質問と全く同じものである。

### 3.3 実験結果

#### 3.3.1 SD法による印象評価の分散分析について

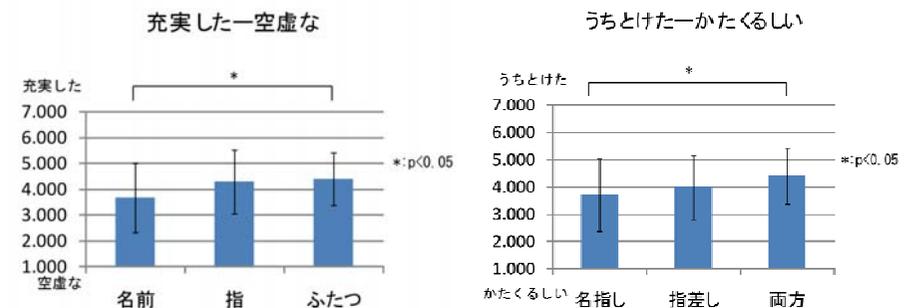


図 4: 左:充実した-空虚な、右:うちとけた-かたくなるしい

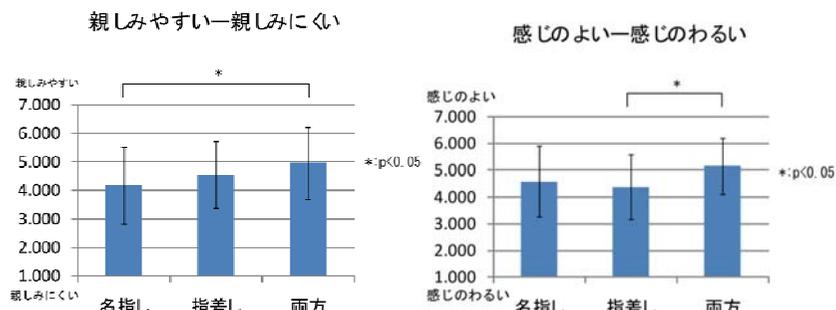


図 5: 左:親しみやすい-親しみにくい、右:感じのよい-感じの悪い

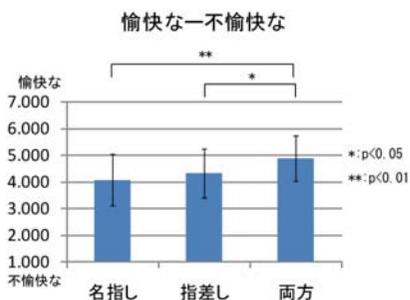


図 6: 愉快な-不愉快な

28 の形容詞対に対して (名指し、指差し、両方) の項目で分散分析を行ったところ、5 つの形容詞対において有意な差が見られたので下位検定として Fisher の最小有意差法を行った。この検定結果を図 4~図 6 に示す。各グラフが示す通り、全ての項目において両方条件においてポジティブな評価を得た。この 5 つの形容詞対のうちポジティブな形容詞を総合し、ロボットとの『親近感』と表す。両方手法がロボットとの『親近感』を高める上で最も効果的だと思われる。指差し手法が評価を下げた要因としては手先を向けられることへの心理的抵抗が、名指し手法が評価を下げた要因としては視線が合わないことによる距離感が考えられる。しかしこの二つの手法を併用することでお互いのマイナス要因を打ち消しあうことができたと思われる。

### 3.3.2 SD 法による印象評価の因子分析結果について

印象評定値理解のために因子解析を行い、固有値に基づいて 3 条件それぞれに対して 3 因子を抽出した。バリマックス回転後の得られた解の累積寄与率は【指差し、名指し、両方】条件においてそれぞれ【54.99(%)、58.12(%)、58.58(%)】であった。各条件

の各因子について因子負荷量上位 5 つを抽出し、因子名を決定した。その結果、名指し条件と指差し条件には『親和性』『明朗性』『即応性』といった因子が出現したが、両方条件においてのみ『擬人性』という実際の人間を思わせる形容詞対を多く含んだ因子を確認した。このことから、両方条件が実際の学芸員の説明に最も近い印象を与えていたのではないかと考えられる。

### 3.3.3 3 条件の順位付けによる分散分析について

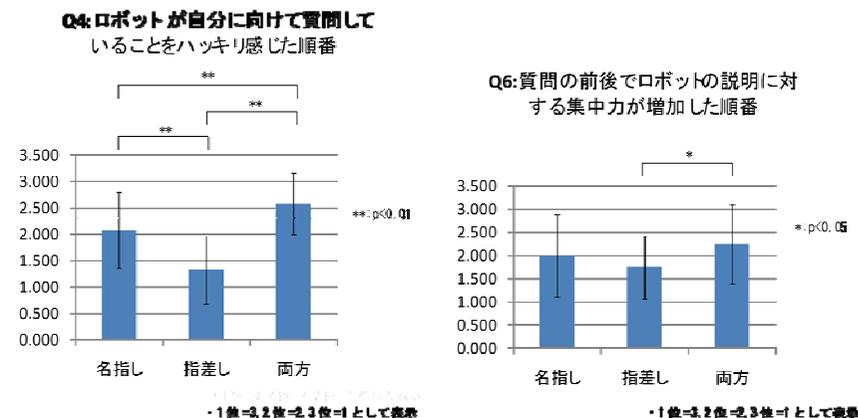


図 7:3 条件の順位付けによる分散分析結果

3 条件の順位付けによるアンケート結果においても分散分析を行った。この結果 2 つの質問項目において有意な差が見られたので、下位検定として Fisher の最小有意差法を行った。なお、実際のアンケートでは質問に対して強く当てはまる順番に数字を書いてもらったがグラフでは見やすさのために 1 位=3 ポイント、2 位=2 ポイント、3 位=1 ポイントとして重み付けしてある。この結果を図 7 に示す。この結果から、両方手法を用いることで回答者を明示し、説明に対する集中力の上昇が期待できることが分かる。また、『Q5:ロボットに質問された時、緊張を感じた順番』という質問項目では有意な差が見られなかったことから、両方手法は先に述べた利点がありながら心理的抵抗を高めるわけではないということが言える。

### 3.3.4 ポストテスト結果について

ポストテストは各設問において事前知識による回答への影響の有無を確認し、影響があった場合は母数から除外してある。この結果について図 8 に示す。両方条件において知識定着率が最も高くなった。このことから両方条件を用いることで最も学習効果を高めることができる考えられる。

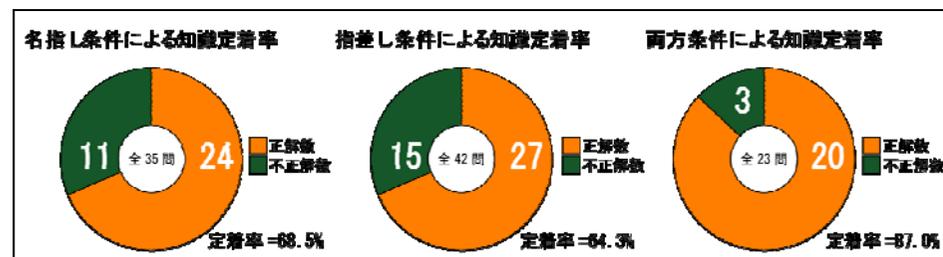


図 8: ポストテスト結果

### 3.3.5 結果全体から見た考察

3 つの回答者指名方法の中ではいずれの調査においても両方条件が最もポジティブな結果を得た。『Q4:ロボットが自分に向けて質問していることをハッキリ感じた順番』で調べた指名の明確性に関しては両方条件が最も強くなることが予想できたが、印象に関して他の手法とこれほど有意な差が現れることは想定外であった。これは人間-ロボット間コミュニケーションにおいて、ロボットの些細な行動が印象に大きな影響を与える可能性を示している。今回の実験のように博物館における展示案内という場においてはコミュニケーション、印象、学習効果の点において名指しと指差しを併用して回答者を指名することが効果的だと考えられる。

## 4. おわりに

本論文では『垂直同期信号を利用した個人識別システム』の開発と、展示案内におけるロボットの回答者指名方法が観賞者心理とコミュニケーション、学習効果に与える影響に関して調査した。『垂直同期信号を利用した個人識別システム』では従来行われていた顔認識などの手法とは違い、複数観賞者の識別と位置認識が可能となった。回答者指名にあたっては名指しと指差しを併用することがコミュニケーション、学習効果の面から見て望ましいことが明らかになった。今後はロボットが行う質問を等難易度のものにすることでより綿密に学習効果を調査する必要がある。また、実際の博物館において親子を対象とした実験を行うことでシステムの有効性を検証していくことが求められる。

**謝辞** 本研究は、科研費（基盤研究（C）20605001、研究代表者 山下 淳）の助成を受けたものである。また、本研究は情報通信研究機構(NICT)の「革新的な三次元映像技術による超臨場感コミュニケーション技術の研究開発」に関する委託研究により実施されたものである。

## 参考文献

- 1 科学技術館, <http://www.jsf.or.jp/>
- 2 体験共有コミュニケーションを促すガイドシステム, 角 康之, 保呂 毅, 三木 可奈子, 西田 豊明, 京都大学, ATR メディア情報科学研究所, 第 19 回人工知能学会全国大会, 2005
- 3 M. Bebbewitz, F. Faber, D. Joho, M. Schreiber, and S. Behnke. Towards a humanoid museum guide robot that interacts with multiple persons. In Proc. 5<sup>th</sup> IEEE/RSJ Int. Conf. on Humanoid Robots, pp.418-423, 2005
- 4 Butterworth, G.E. and Jarrett, N.L.M.: What minds have in space: Spatial mechanisms serving joint visual attention in infancy, *British Journal of Developmental Psychology*, Vol.9, pp.55-72 (1991)
- 5 鈴木 祐也: 身体ねじりを表現するコミュニケーションロボットに関する研究, 筑波大学大学院博士課程システム情報工学研究科 2008 年度修士論文
- 6 奥本 素子, 協調的対話式美術鑑賞法-対話式美術鑑賞法の認知心理学分析を加えた新仮説-