

# ロボットとハンドヘルドプロジェクタを用いた ストーリーテリングシステムとその評価

## A Storytelling System using Robots and Handheld Projectors and Its Evaluation

伊藤俊廷<sup>1\*</sup> ゲントウンゴク<sup>1</sup> 杉本雅則<sup>1</sup> 稲垣成哲<sup>2</sup>

Toshitaka Ito<sup>1</sup> Tuan Ngoc Nguyen<sup>1</sup> Masanori Sugimoto<sup>1</sup> Shigenori Inagaki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学

<sup>2</sup> 神戸大学

<sup>1</sup> University of Tokyo <sup>2</sup> Kobe University

**Abstract:** A system called GENTORO that uses robots and handheld projectors for supporting children's storytelling activity is proposed. To use GENTORO, children make robots perform children's story in an augmented reality environment with mobile projected graphical images. Pilot studies have been conducted to clarify the design requirements of GENTORO from both technological and practical viewpoints. In this paper, we discuss the stories created by children and analyze their activities in storytelling through a user study of latest GENTORO. This study indicates that GENTORO's features can enhance children's embodied participation in, and their level of engagement with, their storytelling activities, and can support children in designing and expressing creative and original stories.

### 1 はじめに

私たちは幼少の頃から物語の世界に触れながら成長してきた。絵本の読み語り、紙芝居、お人形さんごっこ、演劇、アニメ、映画など、その媒体はさまざまであり時代ともに多様化している。このように物語を作ったり、語り聞かせたりする行為をストーリーテリングと呼ぶ。子どもの認知や社会的・感情的な発達に関する研究分野では、ストーリーテリングに関する研究は数多く行われ、子どもたちの思考能力、言語能力、表現力、コミュニケーション能力などの発達に有益であると考えられている。更に近年では、ストーリーテリングを支援するシステムに関する研究が盛んに行われている [1][2][3][6]。これらの研究では、コンピュータやセンサなどを用いて実世界とのインタラクションを強化し、子どもたちのストーリーテリングへの動機付けを高めることを目指している。

しかし既存の研究において、子どもたちが独自に作成したストーリーの中で、物理的なキャラクタを操作できるストーリーテリング支援システムは、筆者らの知る限りでは見当たらない。子どもたち自身が作成したストーリーを物理世界において展開し、その中を物

理的な実在であるロボットを役者のように振舞わせることができれば、子どもたちの動機付けを高められるだけでなく、彼らの創造的なストーリー作成を支援できる効果が期待される。

そこで我々は、ロボットとハンドヘルドプロジェクタを用い、以下の特徴を備えたシステム GENTORO[5] を提案する。

- ハンドヘルドプロジェクタを介してロボットにシーンを投影することで、没入感の高いストーリーテリング支援環境を実現できる。
- 子どもたちはハンドヘルドプロジェクタで投影される没入感の高い環境の中でロボットを自由に操作できるので、映画や特撮を制作するような感覚で作業を進行させることができる。
- 子どもたち自身が互いに協調しつつ、シナリオ、台詞、シーンの画像を自由に編集することで、独創的なストーリーを創作できる。
- ロボット、ハンドヘルドプロジェクタがともにモバイルなので、子どもたちは場所に制約されることなく、フィールドを広く使ったストーリーテリングが可能となる。

図1は、GENTOROによるストーリーテリング活動支援のモデルである。子どもたちは、a~dのプロセス

\*連絡先：東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻  
〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1  
東京大学工学部 2号館 10F102C1 号室, 102D2 号室  
E-mail: ito@itl.t.u-tokyo.ac.jp

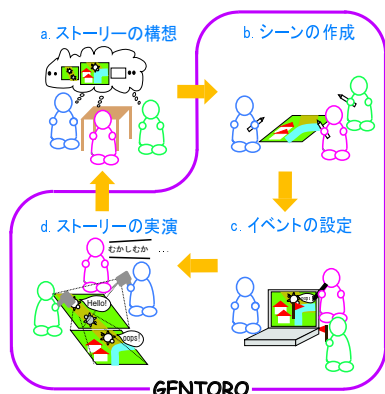


図 1: GENTORO の概要図

を繰り返すことで、ストーリーを構築する。このうち GENTORO によって支援すべきと当初考えた機能は、ストーリー中のシーン画像の作成をする機能、ロボットに発生するイベントの設定をする機能、ストーリーの実演をする機能の 3 つである。

次章以降では、小学校と協力しつつ進めてきた GENTORO の設計、開発について示すとともに、現在のバージョンである GENTORO2 で行った評価実験と今後のシステムの発展について述べる。評価実験では、実体のあるロボットを自由に操作できることが物理的にインタラクティブなストーリーを子どもたちに創造させることが確認でき、一度 GENTORO でストーリーテリングを実践した後では、ストーリーがより動的なものに変化したことが観察された。一方、ハンドヘルドプロジェクタを利用したロボット操作が、参加型のストーリーテリングを支援し、子どもたちの協調学習に有益であることも確認できた。

## 2 デザインプロセス

### 2.1 GENTORO0

#### 概要

GENTORO では、子どもが作成したシーンの中で物理的な存在であるロボットを振舞わせる機能を実現する必要がある。そこで、我々はこれまで開発を進めている CoGAME[4] と呼ばれるシステムを基に構築することにした。CoGAME は、ハンドヘルドプロジェクタを用い、他者と協調しつつロボットを操作、誘導するシステムである。ロボットはハンドヘルドプロジェクタから投影される道の画像に沿って移動するので、直感的にロボットを操作することができる。子どもたちの多様なストーリー作成に利用できるよう CoGAME を拡張し、複数台ロボットの同時操作を可能にした。また、ロボット同士のインタラクションとして、ロボットがある一定距離以下に接近した場合は、各々のロボッ

トが回転したり予め指定された台詞を吹き出しで表示したりするなどの機能を実装した。

#### 評価実験

2007 年 11 月に、千葉県柏市内の小学校 4, 5, 6 年生からなる合計 24 人の子どもたちを対象に実験を行った。本実験の主な目的は、ハンドヘルドプロジェクタを用いてロボットを操作することが子どもたちにとって受け入れられるかどうか、また上記の拡張によって実現されるロボット同士のインタラクションに子どもたちが興味を示すかどうかについて調査することである。したがって、この実験では子どもたちはシーン作成を行わず、予め決められたシーンがプロジェクタから提示された。図 2 のように、3 人の子どもたちが 1 つのチームを作り、2 台のロボットを同じフィールドで操作した。各々の子どもたちは、実験中はロボット認識用カメラが取り付けられたハンドヘルドプロジェクタ (0.5kg) を手に持ち、バッグに入ったモバイル PC (0.5kg) を肩から掛けた。本実験を通して、子どもたちはハンドヘ

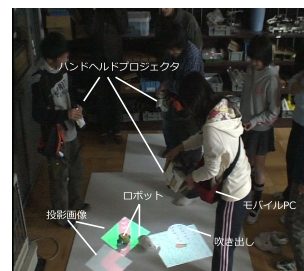


図 2: 2 台のロボットを操作する子どもたちの様子

ルドプロジェクタを用いたロボットの操作をすぐに理解し、簡単に操作できることが確認できた。また、実験中の様子から、子どもたちがロボットを操作しながら、あるいは移動しているロボットを見ながらナレーションを行う様子や操作に対する指示を出す様子が頻繁に観察された。特に 2 台のロボットのインタラクションは、子どもたちの会話を発生させるきっかけとなり、ストーリーテリングを支援する上で重要な機能となりそうながかった。

一方問題点として、ハンドヘルドプロジェクタが持ちづらいため、安定的にロボットを操作するのが難しい場面が見られた。そのため、取っ手をつけるなどの工夫により、子どもたちが保持しやすいようにする必要がある。また、プロジェクタに取り付けられたカメラがロボットの認識に失敗しロボットを操作できない時、その理由が分からず戸惑う様子が見られた。したがって、カメラがロボットを認識しているかどうかを、子ども自身が簡単に把握できる情報提示機能を実装する必要があることも分かった。

ロボットの吹き出しに台詞を表示する場合、プロジェクタの解像度 (800x600) が十分でないため、長い台詞

では文字が小さくなり判読が難しくなる．これに関して担任の教師からは，むしろシーンやロボットの動きに合わせて子ども自身が台詞を発話する方が，よりストーリー作成，ストーリー表現に没入できるのではないかとの意見が得られた．

## 2.2 GENTORO1

### 概要

GENTORO1では，前節の評価実験で得られた知見を基に改良を行うとともに，ストーリーのシーン作成支援を中心に開発を行った．我々は，子どもたちにとっての使いやすさに配慮し，図3のようにタブレットPCを用いたシーン作成支援機能を実現することにした．また，子どもたちが作成した複数のシーンを管理し，それらを指定された順に再生しながらストーリー展開が行えるようにするためのシーン再生機能を構築した．この機能により，複数のプロジェクタに対し適切な順番で交互にストーリーのシーンを投影しつつ，ロボットを操作できるようになった．



図 3: タブレット PC を用いたシーン作成支援機能 (GENTORO1)

図 4: 紙の上でシーンを作成する子どもたちの様子 (GENTORO2)

### 評価実験

2008年3月に千葉県柏市内の小学校6年生7人(男の子3人，女の子4人の2グループ)にGNETORO1を使用してもらった．子どもたちは，各グループで議論しながら，ストーリーのシナリオ・台詞の作成を行うとともに，シーン作成支援機能を用いてロボットに投影するシーンを作成した．

本実験から，GENTORO1を使用することで，ストーリーの構想から実演までを行うことができることが確認できた．ストーリーの構想やシーンの背景作成の際には活発な意見交換が見られ，子どもたちの協調的学習を支援できたと考えられる．

一方で，システムの機能がストーリーテリング支援の妨げとなる場面もいくつか見られた．今回開発したシーン作成支援機能では簡単な図形しか描けず，タブレットPCの解像度が十分でないため，子どもたちが細かい背景の描画をうまく行えない様子が観察された．

本実験では，ロボットを始めとして，各シーンに登場するキャラクタの台詞とナレーションを子どもたちに発話してもらった．各々の台詞やナレーションが終了す

るタイミングでシーンが変わる必要があるため，子どもたち自身で切り替えのタイミングを決められる方が望ましい．しかし，GENTORO1の実装では，現在のシーンと次のシーンの投影画面を重ねることでロボットの切り替えを自動的に行うため，子どもたちの思いどおりにシーンの切り替えができない場面が見られた．

## 2.3 GENTORO2

GENTORO1の評価実験を通して得られたフィードバックを基に以下の改良を行い，現在のバージョンであるGENTORO2を実装した．

### 手書きによるシーン作成

GENTORO1でのシーン作成支援機能では操作性や描画の自由度が不十分であったため，GENTORO2では図4のように子どもたちが紙に書いた絵をシーンとしてスキャナで取り込むこととした．

### シーンの切り替え用リモコン

GENTORO2では，子どもたちが意図するタイミングでシーンを切り替える機能を実装した．具体的には，図5に示すようにWiiリモコン(任天堂)のボタンにシーンの送りと戻し機能を対応づけて，子ども自身がシーン切り替えのコントロールをできるようにした．

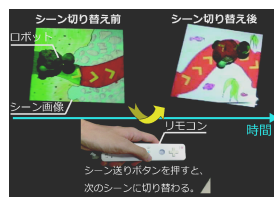


図 5: Wii リモコンによるシーンの切り替え機能

図 6: ロボット非認識時の警告

### ロボット非認識時の警告

ハンドヘルドプロジェクタに取り付けられたカメラによるロボットの認識は，カメラとロボットの角度や手ぶれなどの影響を受けるため，カメラフレーム内にロボットを捉えても認識に失敗する可能性がある．よって，ロボットが認識できていない場合は，プロジェクタの投影画面に図6のような停止中のマークを表示させ，ロボット操作者の注意を促すようにした．

### システム構成

これまでの改良によって，現バージョンのGENTORO2は，図7のようなシステム構成となっている．GENTORO2は，モバイルPC(Sony, Vaio typeU)・ハンドヘルドプロジェクタ(Toshiba, TDP-FF1A)・USBカメラ(Logicool, Qcam for Notebooks Pro)・3軸加速度センサ(NEC-TOKIN MDP-A3U9S)をセットとするモバイルプロジェクションユニット，サーバ用のノートPC(CPU: Pentium M1.8GHz, メモリ: 1GB)，シーンの切り替え操作用のWiiリモコンから構成される．



GENTORO2 ではシーンの再生をする前に、予め子どもたちが紙の上に描画したシーンをスキャナで読み込み、タブレット PC (HP, 解像度: 1024x768) で道データを付加して、各モバイル PC に保存する。サーバ PC には再生中の各モバイル PC の情報管理とロボットの制御命令の生成を行い、Bluetooth アダプタを経由してロボットへ信号を送る。また、Wii リモコンからのシーン切り替えの信号は Bluetooth 経由で一旦サーバ PC で受け取り、各モバイル PC に送信する。サーバ PC と各モバイル PC の通信には無線 LAN を用いる。

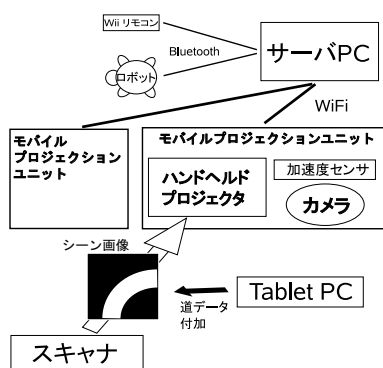


図 7: GENTORO2 のシステム構成

### 3 GENTORO2 の評価実験

本章では 2.3 節で紹介した GENTORO2 で行った評価実験とその結果について示す。

#### 3.1 実験方法

2008 年 6 月に兵庫県神戸市内の小学校 6 年生の男女 25 人を対象に評価実験を行った。各グループのメンバーを 5 人とし、A～E の 5 つのグループに分けた。各グループ午前と午後の計 2 回ずつ、ストーリーの構想からシナリオの書き出し、シーンの作成、ストーリー実演に至る実践を行ってもらい、約 3 時間で 1 つのストーリーを完成させた。午後の実践では、午前で作成したストーリーの変更したい点を考えてもらい、必要に応じてストーリーのシーンやシナリオの変更を行ってもらった。ストーリー実演時の各グループの子ども 5 人の役割分担は、シーンの切り替えリモコンを持つ全体のまとめ役 (監督役) × 1、ロボット操作者 × 2、台詞担当 × 1、ナレータ × 1 のように割り振った。また、本実験では各シーンでのロボットの移動先となる目標地点を分かりやすくするために人形・おもちゃ・積み木などの物理的なオブジェクトを用意し、子どもたちにストーリーを表現する道具として自由に利用して良いという指示をした。実験中には子どもたちの様子をビデオ撮影と音声録音で記録し、最後にアンケート調査を行った。

#### 3.2 結果

##### 手書きによるシーン作成

GENTORO2 では、子どもたちによりスムーズにシーン作成を行ってもらうために、普段使い慣れている紙とペンでシーンを作成してもらった。実際、図 8 と図 9 作品を比べると GENTORO1 よりも GENTORO2 の方が細部までシーンのオブジェクトが描かれていた。また、GENTORO2 の実験では、2 人で同時にシーン画像を協調的に描く場面を観察することができた。

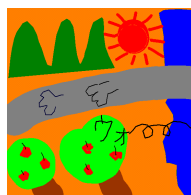


図 8: タブレット PC の場合  
図 9: 手書きの場合  
シーンの切り替え用リモコン

ある監督役からはリモコン機能が使いやすいという意見を得られた。その反面、あるロボット操作者からは監督のリモコンの操作が遅いという意見も得られた。子どもたちのストーリー実演の様子を見ると、練習を重ねるにつれて、台詞の長さやロボット操作者に合わせてタイミングよくシーンを切り替えるようになっていく様子が見られた。特に、A グループではその様子を顕著に観察できた。そのため、ストーリー実演中では、ロボットの動き、台詞に対応してシーンが明確に変わるため、ストーリー構成が分かりやすくなっていた。ロボット非認識時の警告

ロボット非認識時の警告については、ロボット操作者は警告表示を確認し、プロジェクタをロボットに近づけるなどして、確実にロボットを認識させようとしていた。これに関して、子どもたちの否定的な意見は得られなかった。一方で、シーンの真ん中に画面に大きく警告が表示されるのは、ストーリーの雰囲気損なってしまう。例えば、ハンドヘルドプロジェクタに振動モーターを取り付けて、ロボット操作者のみに情報提示する方法に変更すべきである。

##### 物理的なインタラクション

本実験では 5 グループ中 4 グループが多数の物理的なオブジェクトを積極的に取り込み、キャラクタや背景のオブジェクトとして活用し、フィールドを広く使ったストーリー実演が行われていた。特に、ロボットの動きに関する物理的なオブジェクトとのインタラクションを含んだ場面を表 1 に示した。このうち、A グループの「パンダの人形にロボットがぶつかる」というイベントが発案されるまでの実際に行われた子どもたちの会話を表 2 に示す。子どもたちはパンダの人形をどのように登場させるかについて活発な議論を交わしていることが観察された。

このようにロボットの動きに結びついた物理的なインタラクションが多く見られたのは、ロボットが現実存在し、かつそれを自由に操作できることに起因していると考えられる。ストーリーテリングにロボットを使用することで、物理的に動的なストーリーの創作を支援できたと言える。

表 1: 物理的なインタラクションを含むイベント

グループ	イベント内容
A	パンダの人形にロボットがぶつかる
A	パンダの人形をつかみロボットと一緒に移動させる
A	ロボットの周りにフルーツを落下させる
B	ぜんまい式のおもちゃを動作させる
B	ロボットに棒を取り付けてガイコツに押し倒す
C	物理的なオブジェクトで並べて作られた道の間をロボットが通る
E	ロボットの体当たりで2つのキャラクタを連続して押し倒す

表 2: イベントのアイデアを発案時に行われた会話

女の子 1: 変な生物に出会いました。
男の子 1: 生物じゃなくてもいいやん。
男の子 2: 変な生き物。
男の子 1: 白黒の丸いもの。
女の子 1: 変な生き物にしたら？変なもの。
男の子 2: 変なものにぶつかりましたでいいやん。
女の子 2: 変なものがいましたの方がよくない？
女の子 1: あ、でもぶつかった方がなんかインパクトが出るやん。
女の子 2: あー、そっか。

### 実体のあるキャラクタ

今回は物理的なオブジェクトを子どもたちに与えたことで、キャラクタを多く登場させたストーリーが作成された。一方で、シーンの画像にキャラクタが出現することは全グループを通して1つシーンのみであった。また、台詞のあるキャラクタは常に人形やおもちゃなどの物理的なオブジェクトが利用されていた。したがって、キャラクタは実体のある物で表現することが子どもたちにとって自然であると考えられ、ストーリーの主人公に実体のあるロボットを使用することについても同様なことが言える。

### ストーリーの変化

午前と午後のストーリーにおいて、表3に示すように物理的なオブジェクトの使い方に変化が見られたグループを確認できた。Aグループの午前のストーリーでは、3つ目のシーンのタイトルが「カメの危機」であった。午後のストーリーを変更させる議論では、そのシーンをどのように変化させるかについて議論が活発になった。カメロボットが落とし穴に引っかかることで「カメの危機」を表現するというアイデアから議論が発展していった。議論中には実際にいくつかの物理的なオブジェクトを机の上に持ち出し、オブジェ

クトや投影画像でどのように「カメの危機」を表現するかについて話し合った。そして、最終的にフルーツの作り物をロボットの上から降らせる「フルーツの雨」という不思議なイベントを演出した(図10)。

Bグループでは、カメロボットとガイコツの人形を机の上で遊んでいるうちに、ガイコツを倒すには棒があったほうが良いことに気づき、カメロボットに棒を取り付けることにした(図11)。

表 3: ストーリーの変化

	グループ A	グループ B
午前	フルーツを舞台に置く	ガイコツのそばをロボットが通過する
午後	フルーツを上から降らせる	ロボットに棒を持たせてガイコツを倒す

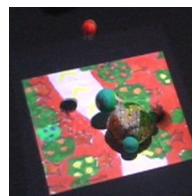


図 10: フルーツの雨のシーン

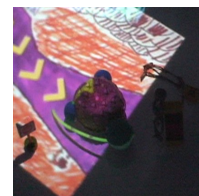


図 11: 棒を取り付けたロボット

以上のように、子どもたちは実体のあるロボットと物理的なオブジェクトを利用して一度ストーリーの作成から実演まで行ったことにより、更にそれらを使いより物理的にインタラクティブなイベントを演出できるようになったと考えられる。特に、ロボットを自由に操作できるという特性をより上手に活用できたと言える。

### 協調作業

GENTORO2を用いたストーリーテリングを通じて、子どもたちの協調学習の支援を確認できた。ハンドヘルドプロジェクトを使用してロボットを操作するため、ロボットの動きが毎回変化し、子どもたちはメンバー同士のお互いの動きを意識しつつシーンの切り替えるタイミングなど調整してストーリー実演をする必要があった。

i. ストーリー作成時 Bグループでは、午後の台詞の書き出し中にナレータとロボット操作者の間で、実演中に台詞が長くなってしまったときはロボットの移動距離を長くするようにと相談する場面が見られた。

ii. ストーリー実演時 Aグループでは、子どもたちの協調作業によって、より完成度の高いストーリー実演となったことが観察された。Aグループは午後のストーリー実演を合計3回行った。1回目のストーリー実演では、監督役がシーン1からシーン2へ送るタイミングが早すぎたため、他の子どもたちが「まだまだ」と声をかけてシーンの戻しを促した。また、フルーツをカメロボットに降らせる場面では、ナレーションに対し

てフルーツを降らせるのが遅れてしまっていた。一方、3回目のストーリー実演では、ナレータがシーン1の最後のナレーションを語りつつ、ロボット操作者に「こっち、こっち」と手を振ったことにより、ナレーションを語り終わると同時に次のロボット操作者にシーンを受け渡すことができた。また、フルーツを降らせる場面では、操作中でないロボット操作者が監督役にフルーツの準備を促し、台詞役が「コロコロ」と小声で合図することでフルーツの降らせるタイミングを調整できた。

#### アンケート結果

子どもたちに「ロボットとプロジェクタを使った物語の実演に関して、感想に丸をつけてください」と問うアンケートをいくつかの項目について実施した。図12の物理的なオブジェクトを利用したストーリー表現の項目では、「すごく表現しやすかった / 表現しやすかった」という回答を過半数以上得られた。これは、ロボットと与えられた物理的なオブジェクトをきっかけにストーリーのシナリオが完成していったことや、物理的なオブジェクトが実演中のロボットの目的地の役割を果たしていたことによるものと考えられる。

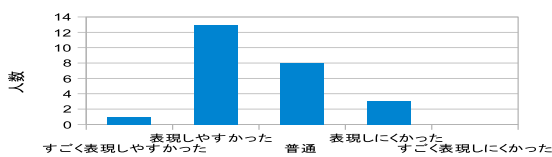


図 12: 物理的なオブジェクトを使用した実演の表現のしやすさ

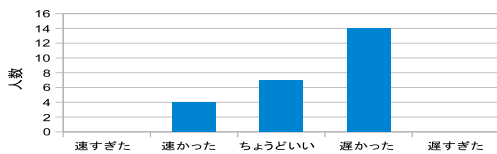


図 13: 実演時のロボットの動く速さ

図13のロボットの動くスピードについての項目では、「遅かった」という回答が最も多かった。台詞の長さやシーン中の移動距離によって、ロボットの移動速度の体感が変化すると考えられる。今回の子どもたちのストーリー実演の様子を観察すると、ナレーションや台詞の進行にロボットが遅れる場面が多かったように思われる。これは、練習を通して改善されるグループも見られたが、実演中にロボットの速度を調整する機能の追加やグループごとに予め速度を調整してあげるといったような対応が必要である。

## 4 今後のシステムの発展

現在の GENTORO では、ロボットは常に投影画面の道に沿って移動するため、ロボットと投影画面の相

対的な位置関係を変化させることが難しかった。ロボットをプロジェクタで操作しつつ、ある地点では他の動作をするように設定できれば、表1で見られたようなイベント設定を支援することができる。そこで、図14のような方法でイベント設定を行う機能を取り入れたいと考える。予め特定の動作が関連付けられているパ

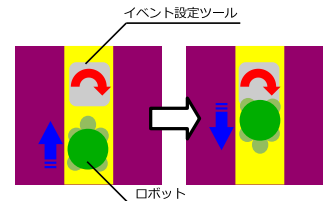


図 14: イベント設定ツール

ネルをプレイフィールドに置き、ロボットがそのパネル上を通過するとその動作を実行する。子どもたちはこのようなパネルを複数組み合わせることで、発生させたいイベントを物理世界で設定することができる。

## 5 まとめ

本稿では、ロボットとハンドヘルドプロジェクタを用いたストーリーテリングシステム GENTORO を提案し、評価実験を通して必要な要件や機能を明らかにし、システムの実装を行った。第3章では、システムの改良点を評価するとともに、ロボットがストーリー創作に与えた影響やハンドヘルドプロジェクタを使用することで観察された協調学習についての考察を述べた。今後は、GENTORO2で行った評価実験の分析を更に深く掘り下げ、引き続き改善点やまだサポートできていないイベント設定の機能を検討し実装する。

謝辞 本研究は、科学研究費特定領域研究「情報爆発時代に向けた新しいIT基盤技術の研究」の支援を受けています。

## 参考文献

- [1] Bobick A., et al: The KidsRoom: A Perceptually-Based Interactive and Immersive Story Environment, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8(4), pp. 369-393, (1999).
- [2] Druin A., et al: Designing PETS: A Personal Electronic Teller of Stories. *Proc. of CHI'99, ACM Press*, pp.326-329, (1999).
- [3] Garzotto F., Forfori M.: FaTe2: storytelling edutainment experiences in 2D and 3D collaborative spaces, *Proc. of IDC 2006*, pp.113-116 (2006).
- [4] Hosoi K., Dao V.N., Mori A., Sugimoto M.: CoGAME: Manipulation Using a Handheld Projector, *Proc. of SIGGRAPH 2007 Emerging Technologies*, (2007).
- [5] Ito T., Nguyen G.T., Sugimoto M.: A Storytelling Support System using Robots and Handheld Projectors, *Proc. of IDC 2008*, (2008)
- [6] Raffle H., et al: Jabberstamp: Embedding Sound and Voice in Traditional Drawings, *Proc. of IDC 2007*, pp.137-144, (2007).