

## 積み木を用いたインタラクティブな VR システムとその評価

永井淳之介<sup>†</sup> 沼野剛志<sup>†</sup> 東孝文<sup>†</sup> Matthieu Tessier<sup>†</sup> 宮田一乗<sup>†</sup>

本報告では、積み木を用いたバーチャルリアリティのシステムについて述べる。体験者は積み木を積み上げるという単純な動作を行うだけで、自分が想像する精巧な城を仮想世界に生成することができる。我々は、仮想世界と現実世界をシームレスにつなぎ合わせる積み木遊びのインタラクションを実現するための、タンジブルなインタフェースを設計した。このシステムを用いれば、現実世界で積み上げた積み木が、仮想世界でダイナミックに城に変化するという体験を楽しむことができる。体験者は、積み上げるブロックの形に対応したリアルな城の 3 次元 CG を仮想世界に生成することが可能である。さらに、このタンジブルなインタフェースとリアルタイムにグラフィックを生成する技術を用いれば、現実世界と仮想世界をより滑らかに接続することができる。このシステムを国内外の展示会に出展し、体験者からアンケートをとりシステムを評価した。その結果、このシステムは幅広い年齢層の人が楽しみ、誰でも簡単に遊べるということを確認した。

## An interactive VR system using toy blocks and its evaluation

JUNNOSUKE NAGAI<sup>†</sup> TSUYOSHI NUMANO<sup>†</sup> TAKAFUMI HIGASHI<sup>†</sup>  
MATTHIEU TESSIER<sup>†</sup> KAZUNORI MIYATA<sup>†</sup>

This paper proposes a Virtual Reality application for playing with blocks. Players can create their own decorative castle in a virtual world, by only stacking simple physical blocks in the system. We designed a tangible interface such that a player can experience seamless interaction between the real world and a virtual world when playing with toy blocks. The system gives players a revolutionarily enjoyable experience where blocks are stack in the real world and blocks stacked in the real world are dynamically transformed into a castle in a virtual world. The system enables players to create a realistic castle that reflects the shape of the blocks. Moreover, the system smoothly connects the physical world to the virtual world by means of a tangible interface and real-time computer graphics. The system was exhibited at domestic and international conferences. The evaluation of the system was done survey by a carried out using questionnaire at the event. The evaluation found that the system was easy to play and most of the players enjoyed the system.

### 1. はじめに

本章では、研究の背景と関連研究について述べ、つづいて研究の位置づけを明らかにする。

#### 1.1 背景

子どもがタッチ型ディスプレイを搭載した情報機器で遊ぶ機会が増加してきている。子どもの成長過程の早い段階において、そのようなデバイスに長時間接することが望ましいかどうかについて議論する余地があると考えられる。発達心理学の領域では、子どもにとって、五感を使ってモノと物理的に触れ合い、遊びを通して創造力を養うことが、非常に重要であると言われている[1]。しかしながら、このような体験は、タッチ型ディスプレイに触るだけでは、十分に得ることは出来ない。その理由としては、1) フラットなディスプレイ上でのインタラクションに限定されたインタフェースであるため、物理的な触覚や視覚を提示することが困難である、2) 多くのアプリケーションは、あらかじめ目標やゴールが設定されており、一から何かを作り上げるというような、創造的な体験を提供できるものが極めて少ない、という点が挙げられる。子どもにとって遊び相手になる情報機器は非常に魅力的であるため、幼児教育では深刻な状況であると言える。この課題に対し、子どもの興

味を惹きつけ、創造的にかつ触れることの出来るタンジブルなインタフェースを用いた遊びやデバイスを提供することが必要であると考えた。

#### 1.2 関連研究

タンジブルユーザインタフェースやバーチャルリアリティを応用した遊びに関する研究がいくつか報告されている。"TonTon"は日本の伝統的なゲームである紙相撲を水の中で表現することで、紙相撲の遊びの表現を拡張し、よりタンジブルでインタラクティブな体験を提供している[2]。AR の技術をコマ遊びに適用し、エンターテインメント性の高い遊びを提案した研究がある[3]。この研究では、ビデオゲームの要素でユーザにより豊かな体験を提供でき、コマの動きを観察することが、物理現象の理解の支援につながると述べている。以上の例は、ビデオゲームと伝統的な遊びを組み合わせることで両方の良いところをうまく引き出すことに成功した事例である。一方、タンジブルユーザインタフェースを用いてリアルタイムで 3D モデルを生成するという研究がある[4]。この研究では、入出力機能を備えたブロックを組み合わせることで、リアルタイムで 3 次元形状を仮想空間内に構築できる。これらの研究をふまえて、積み木遊びに VR のシステムを導入することで、子どもに

<sup>†</sup> 北陸先端科学技術大学院大学  
Japan Advanced Institute of Science and Technology

タンジブルなインタフェースを介し、遊びのモチベーションを持たせることを試みる。これにより、遊びを通して子どもの創造力や五感で感じる力を育むことを目的とする。

### 1.3 研究の位置づけ

本報告では子どもの創造力や認知力の向上に有効であるとされている積み木[5]を対象としたシステム「Tsumiki Castle」を提案する。積み木は誰でも簡単に遊ぶことが出来るおもちゃである[6]。子どもが積み木で遊ぶ時、積み木を家やロボットなどに見立て、想像を膨らませて遊ぶ。積み木は非常に単純な形状であるが、それで遊んでいるうちに子どもの創造性や想像力を高められるとされている[7]。

本報告では、子どものために新たなインタラクティブなおもちゃを提案する。積み木という物理的な形状を維持しながらも、仮想空間との物理的な環境のギャップを橋渡しする機能を付加し、現実空間から想像の世界でもある仮想空間へと積み木遊びを拡張することを試みる。子どもは、ヨーロッパの城やアジアの城、軍事的な要塞など、様々な特徴を持たせた建築物を想像しながら積み木で遊ぶ。しかしながら、想像するだけの遊びでは、単純すぎて飽きてしまう。本稿で提案するシステムでは、現実空間内で積み木を組み上げると、リアルタイムに仮想空間内で3次元コンピュータグラフィックス（以降、3DCG）の城へと変換されるという、想像を具現化する体験を提供する。単純な積み木が複雑な3DCGへと変化する様子は、子どもの遊びに対するモチベーションをあげ、わくわくさせることができると考える。子どもがこの体験を通じ、創造する行為に対してより多くの喜びを感じてもらうことを期待する。

## 2. 体験の流れ

本システムの体験の流れを図1に示す。体験者は、システム上に自分のイメージに沿って4種類の積み木ブロックを自由に積んでいく。体験者は透明アクリル製のケースに積み木ブロックを落として入れて、任意の形状に積み上げていく。ケースの中に積み木ブロックが落ちると、ケースの底面に設置した照明システムが、積み木ブロックを照らし出す。積み木ブロックがケース内に入った直後、仮想空間でも同じように積み木ブロックが出現し、現実空間とリンクして積み上がっていく。仮想空間の積み木ブロックは、リアルタイムで精巧な3DCGの城の一部へと変換される。仮想空間での積み木ブロックの形状と配置位置は、現実空間で積まれた積み木ブロックのものと同じにする。

以上のように、体験者は装飾された城のモデルを、任意の積み木ブロックを積み上げることで構築することが出来る。しかしながら、一度入れた積み木ブロックは、体験終了まで取り出せないの、自分の望むような城を創造するには、積み木ブロックをどこに配置するかを注意深く考えなければならない。体験者が、配置のバランスを考慮しながら、自分のイメージ通りに積み木を積み上げることが出

来れば、より構造的にも現実的な城を生成することが可能である。逆に、無作為に積んでいくと、城の基盤部分が屋根の上に配置されるなど、奇妙な形の城が生成される。

城を作り終えたら、あらかじめ用意された風景パターンの中から風景を選び、好きな角度から自分の作った作品を確認し楽しむことが出来る。

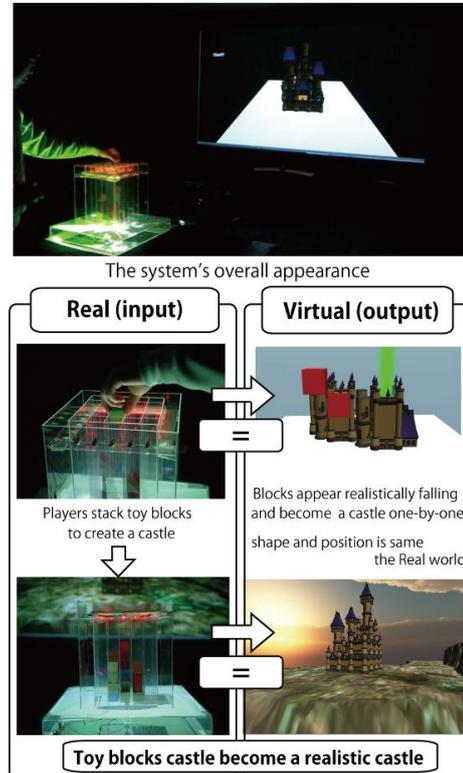


図1 体験の流れ

Figure1 Experience Flow

## 3. システム構成

システムの概観を図2に示す。システムはインタフェースモジュール、センシングモジュールおよび、シーン生成モジュールの3つのモジュールで構成する。

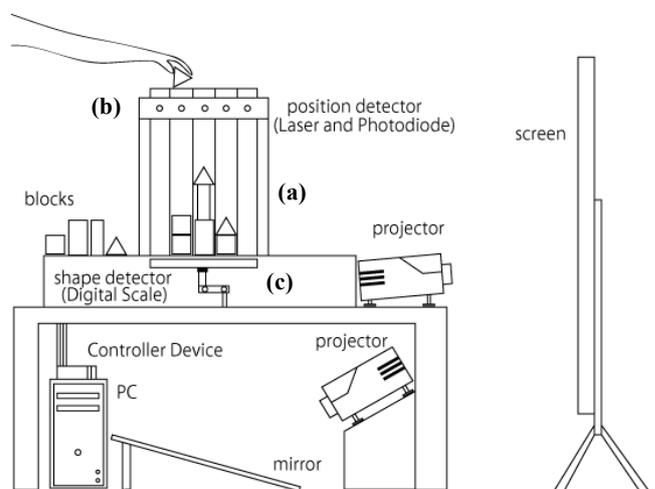


図2 システムの概観

Figure 2 System Overview

### 3.1 インタフェースモジュール

インタフェースモジュールは、体験者が積み木ブロックを積み上げる部分であり、透明なアクリルケース(図 2 の(a))と 2 台の 프로젝タを設置したテーブルで構成する。ケース内は5×5のセルに透明アクリル板で分割しており、各セル内に図 3 に示すような重さの異なる積み木ブロックを積み上げていく。また、 프로젝タを用いてケースを底面から動的に照らし出すことで、積み木ブロックを入れるごとに光の演出を行う。

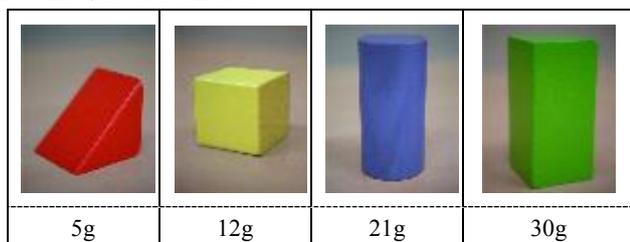


図 3 積み木ブロックの種類とその重さ  
Figure 3 Type of Block and its Weight

### 3.2 センシングモジュール

センシングモジュールは 次の 2 つで構成する。1) ケース上部に設置したレーザアレイ(図 2 の(b))で、積み木ブロックを積んだ位置を検出し、現実空間と仮想空間との位置を合致する。2) ケースの底面に設置したデジタルスケールで(図 2 の(c)), 積まれた積み木ブロックの種類を検出する。最終的にレーザアレイから得られた位置情報と、ロードセルから得た形状情報をセットにして PC に文字列データ {Row, Column, Shape} として送信する。

### 3.3 シーン生成モジュール

シーン生成モジュールでは、ゲームエンジンである”Unity”を用いて、リアルタイムに城の 3DCG と周りの風景を生成する。

図 4(a)は、仮想空間内の積み木ブロックを積み上げるグリッド状に配置した 25 個の衝突判定マーカの初期状態を表している。受信したデータ配列にしたがい、該当する衝突判定マーカの上に対応する積み木ブロックの CG モデルを落として積み上げていく。積み木ブロックは、図 4(b)に示すようにマーカとの衝突判定と同時に城のパーツに変換し、マーカは衝突したオブジェクトの上へ移動する。



(a) 衝突検出マーカ (b) 城の CG モデルへの変化  
(a) Collision Detection Marker (b) Transform to Castle Model

図 4 城の CG 生成  
Figure 4 CG Castle Generation

積み木ブロックから城のパーツへの変換は、周囲の積み

木ブロックの位置関係によって変化する。図 5 に、積み上げた積み木ブロックと生成された CG との関係を示す。

風景のイメージは積み木を積み終わった後に生成される。シーンの生成には Unity 内の”Terrain Engine”を用いており、草原や崖、湖のほりなどの数十種類の風景から自由に選択できる。また、”Skybox Tool”で生成される夕焼けや、快晴、曇りの晩などの複数のシーンを選択可能である。最終的に合成されたシーンを図 6 に示す。



図 5 積み木と生成された CG との関係  
Figure 5 Correspondence of blocks and generated castle



図 6 生成された風景  
Figure 6 Generated Scene

## 4. 展示と評価

「Tsumiki Castle」を、いしかわ夢未来博 2012(2012 年 11 月 10-11 日、石川県産業展示館 1 号館にて開催)や Laval Virtual 2013(2013 年 3 月 20-24 日、フランス・ラバル市にて開催)、NT 金沢 2013(2013 年 8 月 3-4 日、金沢市民芸術村)などで展示し、合計で 300 人を超える人が、自分の好きなシーンや城を制作して楽しんだ。以降、展示会での監察結果と評価について述べる。

### 4.1 いしかわ夢未来博

いしかわ夢未来博で来場者がシステムを体験する様子と制作した作品の一部を図 13 に示す。以降、体験者を観察し明らかになった事や実施したアンケートの結果について記述し、考察を述べる。



図 7 いしかわ夢未来博での体験の様子  
Figure 7 Exhibition at Ishikawa Dream Festival

#### 4.1.1 観察と考察

体験者の年齢によって積み方の傾向に顕著な違いが見られた。未就学児は積み木をでたらめに積んでいくシーンが多くみられ、前方のスクリーンには注意を払わず、ケースに積み木を落とし入れていくことに夢中になって、楽しんでいる様子が見て取れた。それとは対象的に小学生以上の子どもは、自分の想像する城を実現するために、ケースのどこに積み木を落とし入れるかを吟味し、スクリーンに表示される CG の変化を常に確認している様子が観察された。これらの観察から、体験者が提案システムを適切に遊ぶためには、一定の年齢を超える必要があると考えられる。しかし、多くの未就学児が積み木を落として積むという行為を楽しんでいる様子であったことから、この年齢層がどのようにシステムを楽しんでいるのかを明らかにする必要があると考える。

#### 4.1.2 アンケート結果と考察

体験後に体験者に対してアンケートを実施し、69 人から回答を得た。表 1 に示すように、体験者の 80% 近くが 10 歳未満の子どもであった。

10 歳未満	55 人	40 代	2 人
10 代	7 人	50 代	1 人
20 代	0 人	60 歳以上	0 人
30 代	4 人	総数	69 人

表 1 体験者の年齢層(いしかわ夢未来博)

Table 1 The number of players by age group (@Ishikawa)

“体験は楽しかったか?”という問いに対する回答結果を表 2 に、年齢別の回答結果のグラフを図 8 に示す。表 2 から体験者のほとんどがシステムを楽しんでいたことがわかる。また年齢代別の結果を見てみると、子どもだけでなく大人も体験を楽しんだということが確認できた。また“あまり楽しくなかった”との回答者が 10 歳未満の子どもであることを確認した。

“もう一度体験したいか”という質問でも、表 3 に示すように 98.6% が肯定的な回答であった。こちらの回答でも否定的な意見は 10 歳以下の体験者からであった。今後、少数ではあるが“楽しくない”“もう一度したいと思わない”という感想を抱く人に対して、どのような点に不満を感じるかを調査していく必要があると考えられる。

すごく楽しかった	58.0%	楽しかった	40.6%
あまり楽しくなかった	1.4%	楽しくなかった	0.0%

表 2 「体験は楽しかったか」への回答  
Table 2 Answers for “Was it enjoyable?”

すごく思った	55.1%	まあ思った	43.5%
思わなかった	1.4%	全く思わなかった	0.0%

表 3 「もう一度体験したいか」への回答  
Table 3 Answers for “Do you want play it again?”

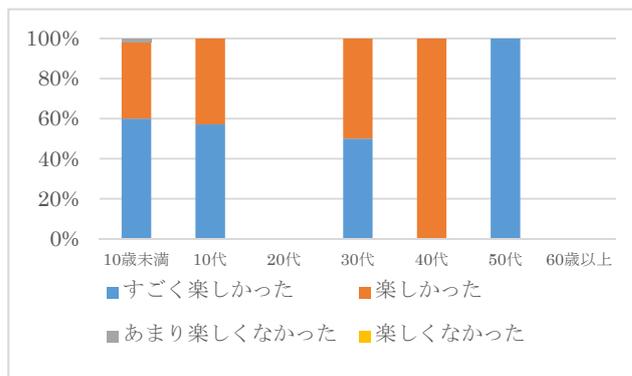


図 8 「体験は楽しかったか」への回答(年齢別)  
Figure 8 Answers for “Was it enjoyable?” by age group

“難しいと感じたか”という質問への回答結果を表 4 に示す。“とても簡単”と“簡単”の回答結果を合わせると 86% ほどであり、残りの 14% が難しさを感じている。これらの回答を年齢層別で見ている(図 9)と、10 歳未満と 30 代に難しさを感じている人がいることが確認できる。

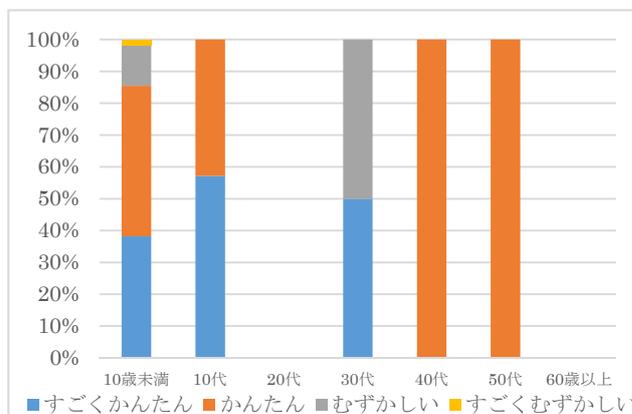


図 9 「難しいと感じたか」への回答(年齢別)  
Figure 9 Answers for “Was it difficult to play?” by age group

難しいと感じた原因としては、イメージした形状を実現できなかった点にあるのではないかと考える。より明確なイメージを持って体験に望んだ人ほど、難しく感じたのかも知れない。このような仮説を基に、難しいと感じた原因についても調査する必要がある。

すごく難しい	1.4%	難しい	13.0%
簡単	46.5%	すごく簡単	39.1%

表 4 「難しいと感じたか」への回答  
Table 4 Answers for “Was it difficult to play?”

## 4.2 Laval Virtual 2013 Revolution

本節では、Laval Virtual 2013 Revolution において体験者を観察し明らかになった事や実施したアンケート結果を記述し、考察を述べる。図 10 に展示の様子を示す。なお、フランスでの展示では、城のパーツに日本的な形状モデルを用いている。



図 10 Laval Virtual 2013 での体験の様子  
Figure 10 Exhibition at Laval Virtual 2013

### 4.2.1 観察と考察

フランスでは、日本での展示において観察されたような子どもの積み木の積み方に関する違いは観察されなかった。多くの子どもが、ケース内に積まれた積み木の形状とスクリーンに表示される CG とを比較しながら慎重に積み木を積み上げていた。この違いの原因としては年齢層の違いや展示場所の構造の違いが考えられる。年齢層については表 5 に示すように、いしかわ夢未来博での体験者の年齢に比べて高い事がわかる。ピアジェ(Jean Piaget, 1896-1980)の唱えた「遊びの段階説」において「「ルールのある遊び」を行うようになる年齢は、おおむね 7 歳以降である。」[8,9]とされており、この年齢を超える体験者と満たない体験者で遊び方に差異が生じたのではないかと考えられる。また、展示場所については Laval Virtual 2013 の展示ブースが開放的であった為、事前に他人が体験する様子を見て学ぶことができていた。いしかわ夢未来博では他人の体験を事前に確認することが難しい環境であった為に、体験方法の理解に差が出た可能性が考えられる。展示の手伝いをしていた大学生ボランティア数名は 5 日間通して継続的に提案システムをプレイしていた。体験回数が少ない初期段階では、CG の城をうまく作れず首を傾げる、苦笑いを浮かべるなど不満な表情を示していたが、回数を重ねる毎に徐々に満足している様子が見て取れた。このことから、想像した通りの CG の城がうまくできない事が、何度も挑戦する事への動機になっていたのではないかと考えられる。

10 歳未満	16 人	40 代	3 人
10 代	31 人	50 代	2 人
20 代	13 人	60 歳以上	2 人
30 代	3 人	総数	70 人

表 5 体験者の年齢層(Laval Virtual)  
Table 5 The number of players by age group (@Laval)

### 4.2.2 アンケート結果と考察

展示期間である 3 月 22 日・23 日の二日間でアンケートを実施し、70 名から回答を得た。表 5 に示すように、体験者の年齢層は 10 代が最も多かったことが確認できる。

“提案システムは楽しかったか”という質問に対しては全員が“楽しかった”と答えていた。さらにどれくらい楽しかったのかを、よく遊ぶビデオゲームと比較した。その結果、表 6 に示すように 63%が提案システムを楽しいと評価した。図 11 の年齢層毎のグラフを見てみると、40 代までの間で提案システムの支持率に大きな違いは見られない。このことから年齢に関係なく半数以上の人々がゲームよりも提案システムの方が楽しいと感じた事が明らかになった。また、50 代以上にゲームが楽しいと回答した人がいない要因としては、この年齢層の被験者数が少ない事、ゲームをした事がない人が多い事などが考えられる。

Tsumiki Castle	63.2%	ビデオゲーム	11.8%
どちらも	14.7%	わからない	10.3%

表 6 ビデオゲームと提案システムとの比較  
Table 6 Comparison between the system and video game

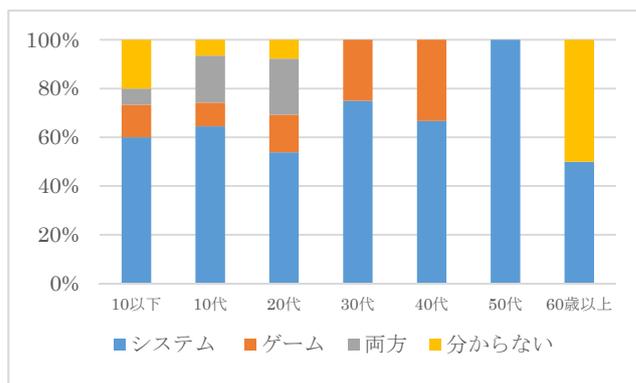


図 11 ビデオゲームと提案システムとの比較(年齢別)  
Figure 11 Comparison between the system and video game by age group

次にイメージした通りの CG の城が完成したかを質問した結果を表 7 に示す。

はい	15.4%	いいえ	65.4%	どちらも	19.2%
----	-------	-----	-------	------	-------

表 7 イメージ通りに城は完成したか  
Table 7 Answers for “Did you generate a desired castle?”

半数以上がイメージどおりにできなかったという回答をした。この要因のひとつとして、体験に制限時間を設けていた事が挙げられる。初めて体験する人が制限時間内にイメージ通りのものを正確に完成させるのは難しかったのではないかと考えられる。制作した城への満足度とシステムの評価の関係を図 12 に示す。システムの評価には表 7 の結果を用いている。図 12 のグラフからイメージ通りに出来たかどうかの評価に関係なく 6 割程がゲームより提案システムを支持していることがわかる。このことから、城

のCGが体験者のイメージ通りに完成しないことはシステムの評価に影響していないことが確認できた。

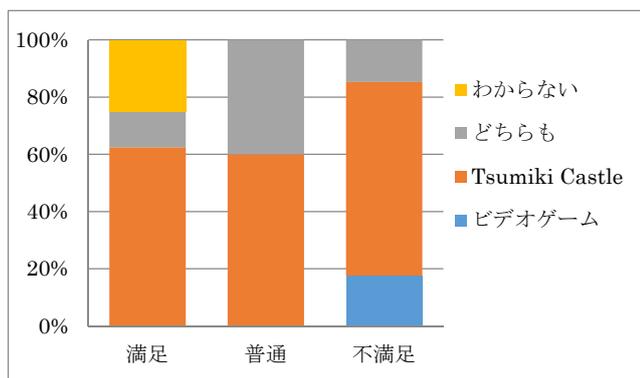


図 12 制作物への満足度とシステムの評価との関連  
Figure 12 Correspondence between the satisfaction with generated castle and system evaluation

#### 4.3 評価のまとめと考察

展示において観察やアンケートによる評価を実施した結果、提案するシステムは年齢に関係なく楽しめるものであることが示された。難しさについては多くの人が簡単であったと回答したが、一部年齢には関係なく難しさを感じる人が見られた。またイメージ通りにCGの城を完成で出来た人は少なく、イメージ通りに出来ないことが難しさを感じさせる要因である可能性が示唆された。しかし、イメージ通りに出来ない事がシステムの低評価には関係しないことも示された。観察の結果では、イメージ通りに完成させる事が困難である事がむしろ再挑戦の動機になっているように見受けられた。また未就学児において、表示されるCG映像を見ずに積み木を製作するという想定していない遊び方が観察された。今後、“どれくらいの年齢であれば正しい遊び方を出来るのか”や“未就学児は提案システムの何を楽しいと感じているのか”を明らかにしていきたい。

徳久らによると、創造・発見・遷移という3つのインタラクションモデルをすべて有するとユーザは楽しさを得るとされている[10]。提案システムでは、1)ユーザの身体動作を伴う入力行為と五感に対する直接的な感覚刺激を出力するという「創造」のインタラクション、2)インタラクションの出力過程において、1つ1つのシンプルな入力行為に対する出力を組み合わせることにより、多様な結果をもたらすという「発見」のインタラクション、そして、3)自身の連続する入力行為に応じた様々な結果を動的に体験するプロセスを通じて楽しさを得るという「遷移」のインタラクション、の3つのインタラクションモデルを備えていた。このことが、提案システムの楽しさにつながっていたのではないかと考える。

提案システムでは、ケース内の間仕切りによる物理的な制約から、どのように積み木を積んでもバランスを崩して崩壊することはない。この点は、現実空間での積み木遊び

との決定的な違いであり、楽しみながらも物理を自然に学べるという設計には至っていない。したがって、現実空間での物理法則も考慮したシステムへと拡張することが必須であると考えられる。一方で、間仕切りの存在により、一度積み上げたブロックを再配置できないという欠点は、パズル的な要素もあり、構造物を計画的に作り上げるプロセスを楽しむことができる。現状での設計の制約を再度見直すとともに、ブロックの種類を増やすことで、例えば橋のような下に空間があいているパーツの積み上げも可能にしたい。

#### 5. おわりに

本稿では、積み木を積むことで城のCGを生成するシステム「Tsumiki Castle」を提案した。2つの展示会を通して計300人以上にシステムを実際に体験してもらい、観察された様子と実施したアンケートの結果からシステムを評価した。評価の結果、多くの人が年齢に関わらず提案システムを楽しめることが明らかになった。

今後の課題としては、現在のシステムの対象年齢を明らかにする事や、未就学児が提案システムのどういった部分に“楽しさ”を感じているのかを明らかにする必要がある。以上の点を踏まえ、今後小さい子供がより楽しさを感じられるデザインについて考えていく必要がある。また、現在のシステムは大人も楽しめることが明らかになったので、今後年齢にあった難易度を設定し、簡単なCGから、より複雑なCGまで作れるようにする事で、より誰もが、継続的に楽しめるものにしていきたい。

#### 参考文献

- 1) Jean Piaget, Barbel Inhelder: The Psychology of the Child. John Wiley, New York (1969).
- 2) 藪博史, 鎌田洋輔, 高橋誠史, 河原塚有希彦, 宮田一乗: 変位情報を用いたVRアプリケーションの実装 -バーチャル紙相撲“トントン”, 芸術科学会論文誌, Vol.4, No.2, pp.36-46 (2005).
- 3) Yasushi, M. Toshiki, S. and Hideki, K.: Enhanced interaction with physical toys. Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces. pp.57-60 (2011).
- 4) Kitamura, Y. Itoh, Y. and Kishino, F.: Real-time 3D interaction with ActiveCube, CHI 2001 Extended Abstracts, pp.355-356 (2001).
- 5) 伊藤智里, 高橋敏之: 一幼児の積み木遊びに見られる多様な発達の特徴, 美術教育学: 美術教育学会誌, No.32, pp41-53 (2011)
- 6) 和久洋三, 積み木遊び, 玉川大学出版部 (2006).
- 7) 伊藤雄一, 山口徳郎, 秋信真太郎, 渡邊亮一, 市田浩靖, 北村喜文, 岸野文郎: TSU.MI.KI: 仮想世界と実世界をシームレスに融合するユーザインタフェース, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 11(1), pp.171-180 (2006).
- 8) J, ピアジェ, E H, エリクソン, et al: 『遊びと発達の心理学 心理学選書』, 黎明書房, 220pp (2000)
- 9) 白井暁彦: エンタテインメントシステム, 芸術科学会論文誌, Vol.3, No.1, pp22-34 (2004)
- 10) 徳久悟, 稲蔭 正彦: エンタテインメントシステムにおける楽しさをデザインするためのインタラクションモデルに関する考察, 情報処理学会論文誌, vol.48 No.3, pp.1097-1112 (2007)