JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	TSUMIKI CASTLE : 積み木を用いたインタラクティブなVRシステム
Author(s)	永井, 淳之介; 沼野, 剛志; 東, 孝文; Tessier, Matthieu; 宮田, 一乗
Citation	芸術科学会論文誌, 13(1): 67-75
Issue Date	2014-03-20
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/12897
Rights	永井淳之介, 沼野剛志, 東孝文, Matthieu Tessier, 宮田一乗, 芸術科学会論文誌, 13(1), 2014, 67-75. 本著作物は芸術科学会の許可のもとに掲載するものです。
Description	

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

芸術科学会論文誌 Vol. 13, No. 1, pp. 67-75

TSUMIKI CASTLE
- 積み木を用いたインタラクティブな VR システム

永井淳之介　沼野剛志　東孝文　Matthieu Tessier　宮田一乘（正会員）
北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科

TSUMIKI CASTLE
- Interactive VR System using Toy Blocks

JUNNOSUKE NAGAI　TSUYOSHI NUMANO　TAKAFUMI HIGASHI
MATTHIEU TESSIER　KAZUNORI MIYATA (Member)
School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology
{ s1250030, t_numano, s1250032, tessier.matthieu, miyata} ＠ jaist.ac.jp

アブストラクト
本論文では，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出来る．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め，誰でも簡単に遊べるということを確認した．

Abstract
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る．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ぶことや，遊びを通して創造力を養っていくことが重要であると言われている[1, 2]．しかしながら，そのような体験は，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と考える．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，触覚や力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，目的やゴールに至る試行錯誤の過程が限定されており，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．遊び相手になる情報機器が提供するコンテンツは子どもにとって非常に魅力的であるため，そちらに興味が集中してしまうことは避けられないのが現状である．この課題に対し，子どもの興味を惹きつけ，創造的で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を提供することが必要であると考えた．

1.2 関連研究

既存の遊びに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適用し，遊びの体験を拡張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ベースとしたVRシステムである[3]．このシステムでは従来の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．AR の技術をコマ遊びに適用し，よりエンターテイメント性の高い遊びを提案した研究がある[4]．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インタラクティブ体験を提供でき，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２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し、遊びへの興味を喚起する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[5]．この研究では，”ActiveCube”と呼ばれる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次元形状を仮想世界に構築できる．また，ユーザの操作が仮想世界での対象物に反映され，その因果関係を直感的に理解できるとされている．さらに “Rope Plus” では，小型のフォースフィードバック機構に操作用のロープを接続したタンジブルインタフェースを介して，縄跳びや凧揚げなどのロープを用いた身体運動を伴う遊びを遠隔地間で楽しむことができる[6]．この研究例でも，体験の拡張を試みるとともに、現実の身体動作をともなう遊びへのモチベーションの向上を目指している。

これらの研究をふまえ，積み木遊びにVRのシステムを導入することで，タンジブルなインタフェースを介し，遊びの体験を拡張するとともに，子供に創造的な遊びへのモチベーションを持たせることを試みる．

1.3 研究の位置づけ

本論文では，子どもの創造力や認知力の向上に有効であると知られている積み木[7]を題材としたインタラクティブなおもちゃ「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[8]．子どもが積み木で遊ぶとき，積み木を家やロボット，城などに見立て，想像を膨らませながら遊ぶ．さらに，子どもは自分たちで作ったモデルで，場面を想像しながら遊ぶことも出来る．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[9]．

本論文では，積み木ブロックという物理的な形状を維持しながらも，仮想世界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，現実世界から想像の世界でもある仮想世界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，想像するだけの積み木遊びでは，飽きやすい．本論文で提案するシステムでは，現実世界で積み木を組み上げると，リアルタイムに仮想世界で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

体験のデザインを考える上で一番重要視したのが，違和感なく直感的に楽しむ事である．そのために，現実世界から仮想世界へと切り換わるタイミングに留意した．提案システムでは，ケースを仮想世界への入り口とし，そこに積み木を落とし入れることで現実世界から仮想世界へと切り換えることとした．すなわち，現実世界にある積み木ブロックをケースの中に入れると，仮想世界の中で城へと変化を遂げる，という体験のデザインである．

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．システムには，透明アクリルで作られたケースが設置されており，体験者はその中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，仮想世界でも同じように積み木ブロックが出現し，現実世界とリンクして積み上がっていく．仮想世界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．仮想世界での積み木ブロックの形状と配置位置は，現実世界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 3DCG 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，一度落とし入れた積み木ブロックは，体験終了まで取り出せないので，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成した作品を確認し楽しむことが出来る．

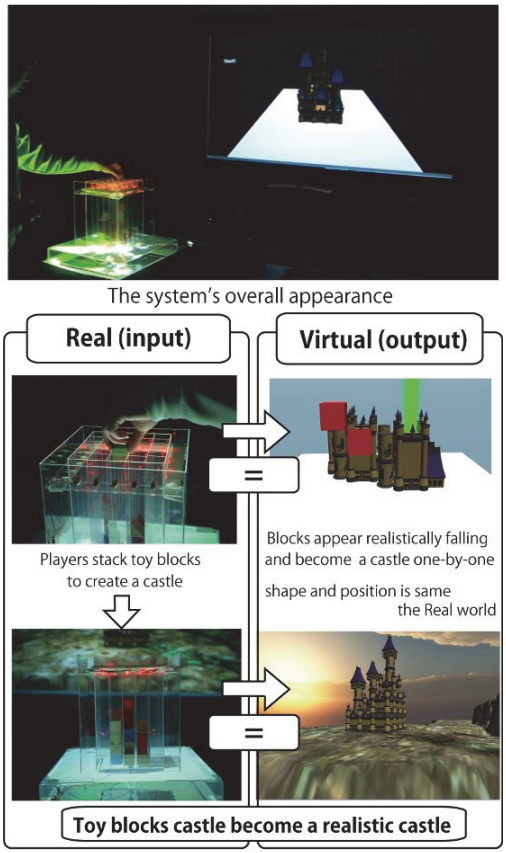


図 1　体験の流れ

3. システム構成

本章では，システムの構成について説明する．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，シーン生成モジュールで構成する．

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 台のプロジェクタを設置したテーブルで構成する．アクリルケース内は 5×5 のセルに透明アクリル板で分割しており，各セル内に積み木ブロックを積み上げていく．また，プロジェクタを用いてアクリル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．

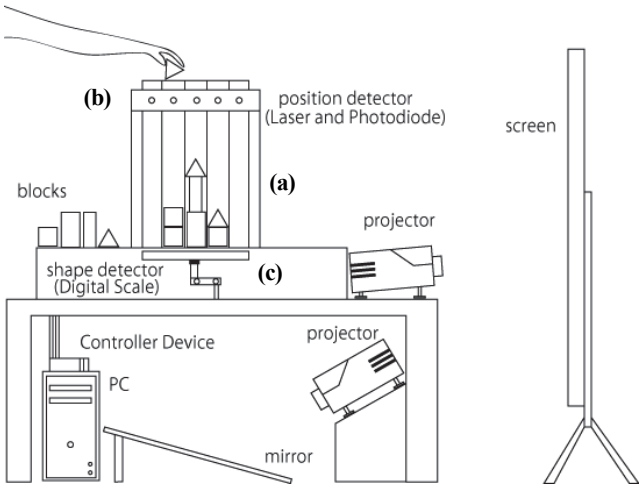


図 2　システムの概観

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，現実世界と仮想世界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．

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．以降，各モジュールの詳細を述べる．

3.1 インタフェースモジュール

図2の(a)に相当する部分の写真を図3に示す．この部分は透明アクリル板(3mm厚) で組んだケース内に，透明アクリル板(1mm厚)を間仕切りとして格子状に組み合わせる．

ケースの外寸は250mm角×高さ350mmであり，間仕切りの間隔は35mm角である．プロジェクタ(SANYO PRO-X)を用いて，穴を空けたテーブルの下からケースに動的に映像を投影することで，体験者が積み上げた積み木ブロックを美しくディスプレイし視覚効果を高めている．

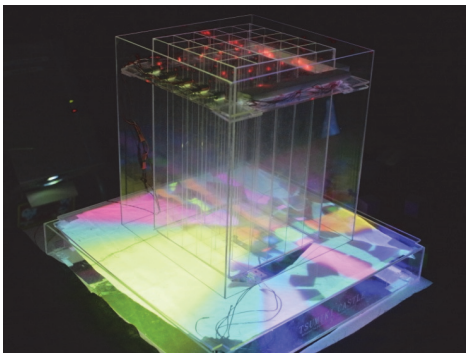


図 3　インタフェースモジュール

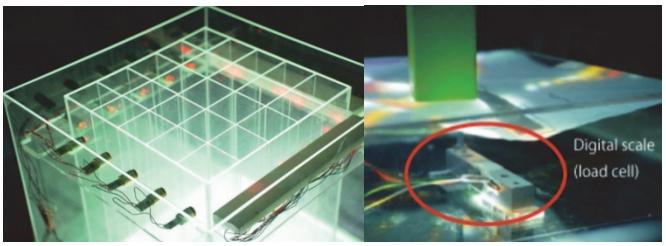
3.2 センサモジュール

図 3 の上部には図 4(a)に示すレーザアレイを，底面部には図 4(b)に示すデジタルスケールを設置する．レーザアレイは，レーザダイオード(LM-101-A-red)と，フォトダイオード(HAMAMATSU S7183)のペアからなる．図 4(c)に示すように，積み木ブロックが通過する時にレーザ光が遮られるため，積み

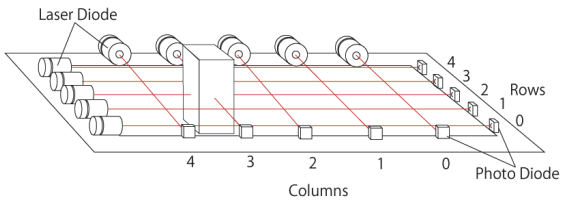
木ブロックを落とした位置を物理的な接触なしに検出できる．検出したデータは ArduinoUno を通して PC に送信する．

積み木ブロックの種類判別には，ロードセル(DRETEC KS-209-CR)を用いた．ロードセルから出力される電圧は重さに応じて変化し，得た電圧値を計装アンプ(LT-1167)で増幅して，ArduinoUno で受け取る．ArduinoUno では受信したアナログデータを 10 ビットのデジタル信号に変換する．図 5 に示すように固有の重さを設定することで，積み木ブロックの種類を判別する．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．

センシングの手法としては，ブロック自体にセンサを付ける，画像認識で位置と形状を判別するなどの様々な手法が考えられるが，システムの堅牢性や誤認識の回避，部品数の削減の観点から，提案手法を用いた．



(a) レーザアレイ　(b) デジタルスケール



(c) 積み木ブロックの位置検出

図 4　センサモジュール

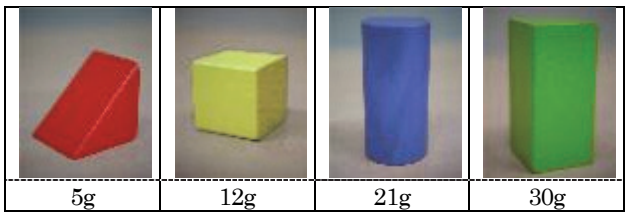


図 5 積み木ブロックの重さの設定

3.3 シーン生成モジュール

ゲームエンジンである Unity を用いて，リアルタイムにシーンをレンダリングする．Unity でセンサモジュールから送られた文字列のシリアルデータを読み取り，それらのデータをケースのセルに対応する 5×5 の配列に格納する．

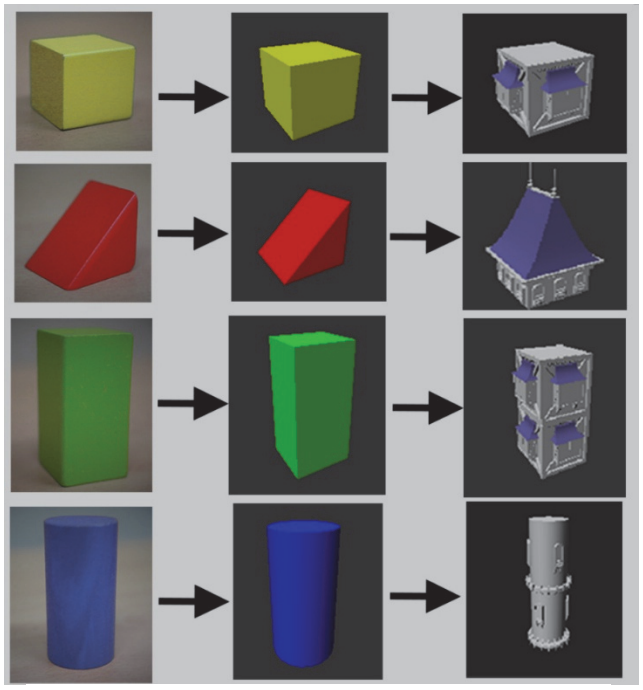
図 6(a)は，仮想世界での積み木ブロックを積み上げるグリッド状に配置した 25 個の衝突判定マーカの初期状態を表している．受信したデータ配列にしたがい，該当する衝突判定マーカの上に対応する積み木ブロックの CG モデルを落として積み上げていく．積み木ブロックは，図 6(b)に示すようにマーカとの衝突判定と同時に城のパーツに変化し，マーカは衝突したオブジェクトの上に移動する．図 7 に積み木ブロックと城のパーツの対応関係を示す．

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．ただし，円柱には依存関係はなく，常に図 7 に示した城のパーツになる．

図 8 に示すように，三角柱は円柱形の積み木ブロック上に積まれたときは円筒型の屋根モデルに，それ以外は，切妻屋根モデルに変化する．

(a) 衝突検出マーカ　(b) 城の CG モデルへの変化

図 6 城の CG 生成



積み木(実物)　CG の積み木　城のパーツ

図 7 積み木ブロックと城のパーツとの対応

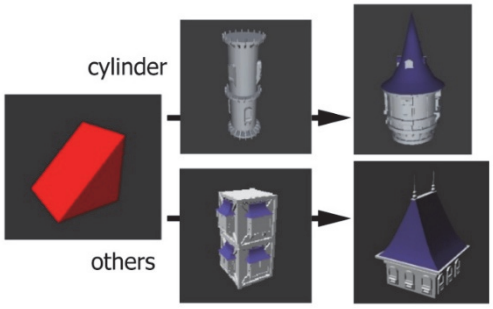


図 8 三角柱の形状変化ルール

立方体と直方体の変換ルールを，それぞれ図 9，図 10 に疑似コードを用いて示す．最終的な積み木ブロックの位置と生成される城の対応関係を図 11 に示す．

```
if (立方体が一番上に位置している)
    他のブロックと隣接しない側面上部に部品 A を装飾
else if (地面と接している){
    if (他と隣接しない側面 I がある){
            I の底辺に部品 B を装飾
            I の両端に部品 C を装飾                    部品 A
    }
    if (上辺の面の同レベルに隣接するブロックがない)
        側面上部に部品 A を装飾
}
else{
    他のブロックと隣接しない側面に対し
        if (上に乗っているのが角柱)      部品 D を置換
        else                              部品 E を置換
}
```

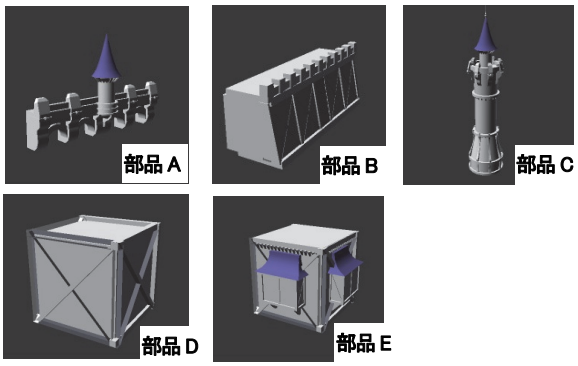


図 9 立方体の形状変換ルール

風景のイメージは積み木を積み終えた後に生成される．シーンの生成には Unity 内の”Terrain Engine”を用いており，草原や崖, 湖のほと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 12 に示す.

```
if (直方体が一番上に位置している)
    他のブロックと隣接しない側面上部に部品 A を装飾
else if (地面と接している){
    if (他と隣接しない側面 I がある){
            I の底辺に部品 B を装飾
            I の両端に部品 C を装飾
    }
    if (上辺の面の同レベルに隣接するブロックがない)
        側面上部に部品 A を装飾
}
else
    他のブロックと隣接しない側面に部品 D を装飾
```

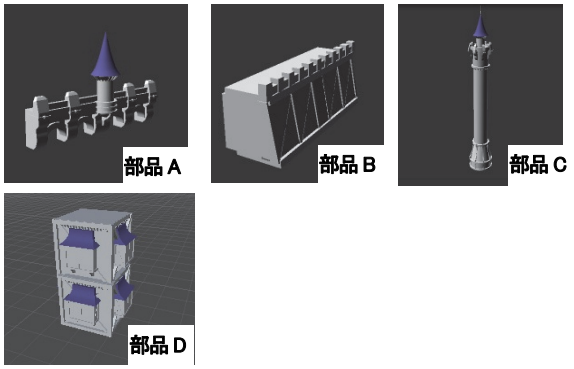


図 10 直方体の形状変換ルール

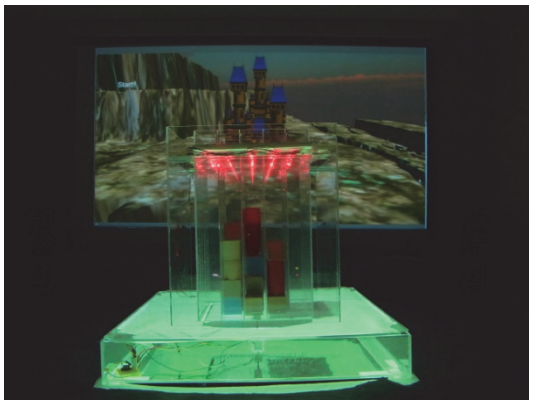


図 11 積み木と生成された CG との関係

図 12 生成された風景

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)や Laval Virtual 2013(2013 年 3 月 20-24 日，フランス・ラバル市)，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，自分の好きな城を制作して楽しんだ．以降，展示会での観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．

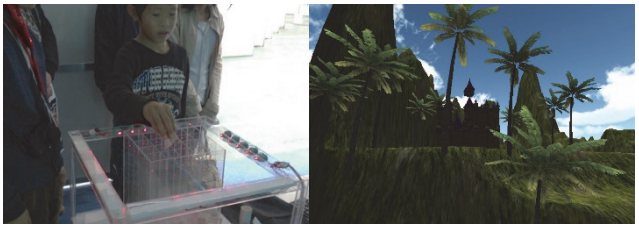


図 13 いしかわ夢未来博での体験の様子

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．体験後，または体験の最中に体験者の年齢について口頭で確認

したところ，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．それとは対照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「TSUMIKI CASTLE」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)

“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 14 に示す．表 2 から体験者のほとんどが「TSUMIKI CASTLE」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

すごく思った	55.1%	まぁ思った	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

“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みる(図 15)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．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．

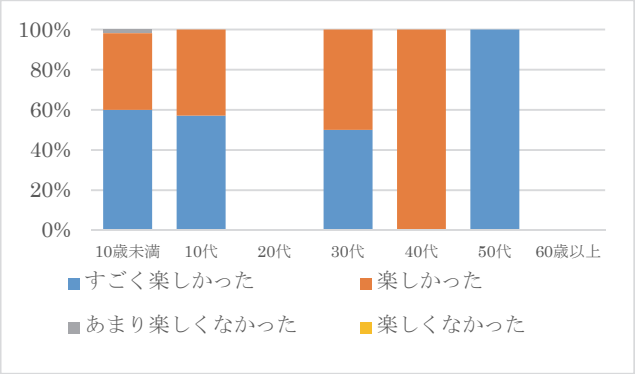


図 14「体験は楽しかったか」への回答(年齢別)

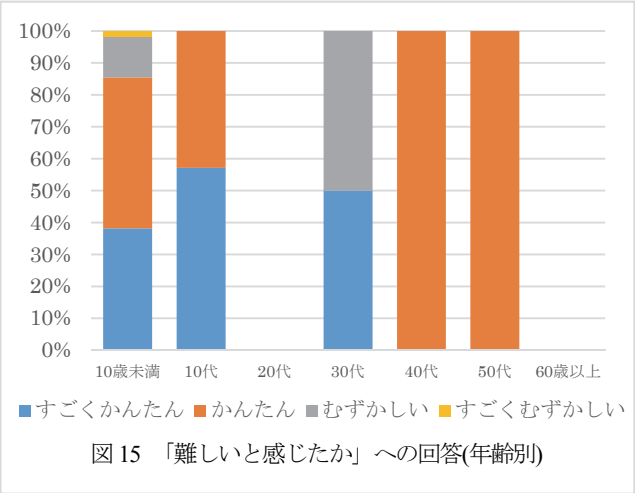


図 15 「難しいと感じたか」への回答(年齢別)

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

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 16 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追加している．

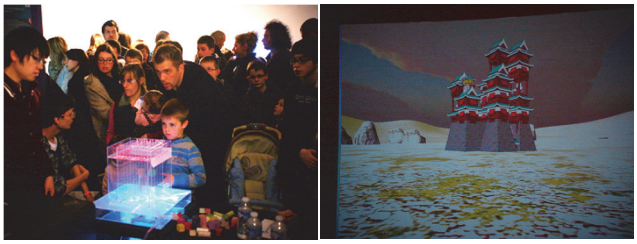


図 16 Laval Virtual 2013 での体験の様子

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．”[10,11]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．

さらに，体験の順番待ちをしている子供が，テーブルの横で使用していない積み木ブロックを積み上げて楽しんでいる様子も散見できた．これは，積み木遊びのおもしろさを再認識した子供がいたことを示唆しているといえる．

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．

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)

“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 17 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

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．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 18 に示す．システムの評価には表 7 の結果を用いている．図 18 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．

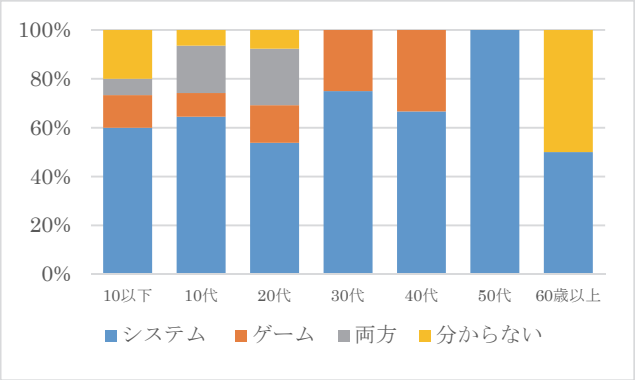


図 17 ビデオゲームと提案システムとの比較(年齢別)

はい	15.4%	いいえ	65.4%	どちらとも	19.2%

表 7 イメージ通りに城は完成したか

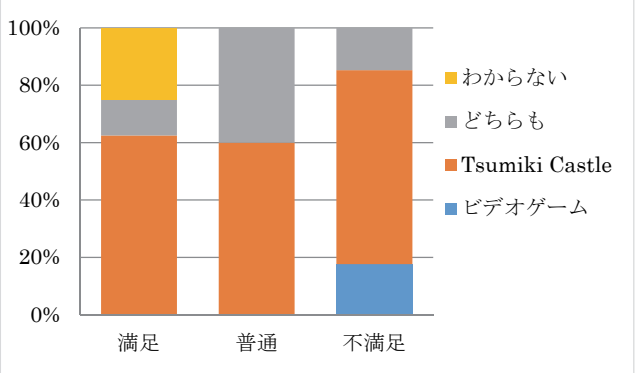


図 18 制作物への満足度とシステムの評価との関連

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．また，多くの子供が提案システムでの遊びを再度希望し，この遊びに強い興味を持った事が明らかになった．ビデオゲームとの比較においては，すべての年齢で提案システムが支持された．ビデオゲームに比べ，ゴールや試行錯誤の過程が限定的でない提案システムでの遊びが支持された事から，より創造的な遊びに強い興味を持たせる事が出来たと言える．この結果は本研究の「子供に創造的な遊びへのモチベーションを持たせる」という目的の達成を示している．提案システムでの遊びの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”を発達心理学などの知見をもとに明らかにしていく必要がある．

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[12]．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も必要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．また，体験したほとんどの子供たちがもう一度遊びたいと思い，半数以上がビデオゲームよりも楽しいと感じた事が明らかになった．こういった結果から提案システムを実際に体験した子供たちに対して，創造的な遊びへの興味をより強く持つ“きっかけ”を提供出来たと考えている．一から何かを作り上げるというような，創造的な体験や遊びの機会の減少が危惧される中で，こういった“創造の楽しさ”を知る機会をより多く提供していく事が非常に重要であると我々は考えている．

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．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システムへと改良していきたい．同時に，家庭でも楽しめるような製品化を視野に入れ，安全面や耐久性，およびメンテナンスの問題点を長期的な利用実験によって明らかにしていきたい．さらに，インタフェース部分の最適な素材を明らかにする事やデバイスの小型化を進めていく予定である．

参考文献

[1] Jean Piaget, Barbel Inhelder: The Psychology of the Child. John Wiley, New York (1969).

[2] 比嘉祐典，遊びと創造性の研究–遊びの創造性理論の構築–, 学術出版会（2009）.

[3] 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).

[4] 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).

[5] Kitamura, Y. Itoh, Y. and Kishino, F.: Real-time 3D interaction with ActiveCube, CHI 2001 Extended Abstracts, pp.355–356 (2001).

[6] Yao, L. Dasgupta, S. Cheng, N. Spingarn, J. Rudakevych, P. Ishii H.: RopePlus -bridging distances with social and kinesthetic rope games, CHI 2011 Extended Abstracts, pp.223-232 (2011).

[7] 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的特徴, 美術教育学：美術教育学会誌, No.32, pp41-53 (2011)

[8] 和久洋三, 積木遊び, 玉川大学出版部 (2006).

[9] 伊藤雄一, 山口徳郎, 秋信真太郎, 渡邉亮一, 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).

[10] 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)

[11] 白井暁彦: エンタテイメントシステム, 芸術科学会論文誌, Vol.3, No.1, pp22-34 (2004)

[12] 徳久悟,稲蔭 正彦: エンタテイ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)

永井 淳之介

2012 年和歌山大学システム工学部情報通信システム学科卒業．現在，北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科博士前期課程在学中．ヒューマンコンピュータインタラクション及び，バーチャルリアリティに関する研究に従事.

沼野 剛志

2012 年神戸市立工業高等専門学校専攻科電気電子工学専攻卒業．現在，北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科博士前期課程在学中. ヒューマンコンピュータインタラクション及び，バーチャルリアリティに関する研究に従事.

東 孝文

2012年 甲南大学知能情報学部知能情報学科卒業．現在，北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科博士前期課程在学中. ヒューマンコンピュータインタラクション及び，バーチャルリアリティに関する研究に従事.

Matthieu Tessier

2012年Arts et Métiers ParisTech/Ecole de Design Nantes Atlantique修士課程了(dual degree)． 2013年より，北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科博士後期課程在学中．タンジブルインタフェース，複合現実感，コンピューターグラフィックスに関する研究に従事.

宮田 一乘

1986 年東京工業大学大学院・総合理工学研究科・物理情報工学専攻修士課程修了．同年，日本アイビーエム（株）東京基礎研究所入社．1998 年東京工芸大学学術部助教授．2002 年より，北陸先端科学技術大学院大学知識科学教育研究センター教授．2012 年より，同大学知識科学研究科教授．博士（工学）．コンピューターグラフィックスおよびメディア表現に関する研究に従事. 情報処理学会, 芸術科学会, 映像情報メディア学会, ACM, IEEE 等会員.