

実世界と仮想世界をつないだドールハウスにおける 検証と設計指針

尾崎 保乃花^{1,a)} 椎尾 一郎¹ 的場 やすし¹ 五十嵐 悠紀^{1,b)}

受付日 2024年3月5日, 採録日 2024年9月9日

概要: ドールハウス遊びには, 子供の社会的言語能力や創造性, 物を扱う能力を育む効果が期待される. これをコンピュータ画面内の仮想世界に展開することで, 人形動作, 舞台設定の制約を取り除き, より幅広い表現を用いた遊びを提供可能になるが, すべてを仮想世界に置き換えてしまうと, 実物体の利点が損なわれる. そこで我々は, 人形が実世界と仮想世界の間を移動しているかのように感じさせることで, 2つの世界をシームレスにつなぐ箱型装置 “GetToyIn” を提案した. これを用いて実世界と仮想世界を接続した一体型ドールハウスを構築し, 事前実験により GetToyIn のパラメータを設定した. 親子を対象とした実験を通して子供が実世界と仮想世界を組み合わせたドールハウス遊びを展開可能であることを確認し, 2つの世界をシームレスにつないだドールハウスの設計指針を作成した.

キーワード: 拡張現実, 入力装置, ドールハウス, ごっこ遊び, 設計指針

Experiments and Design Guidelines for a Dollhouse that Connects the Real and Virtual Worlds

HONOKA OZAKI^{1,a)} ITIRO SHIO¹ YASUSHI MATOBA¹ YUKI IGARASHI^{1,b)}

Received: March 5, 2024, Accepted: September 9, 2024

Abstract: Playing with a dollhouse is expected to improve children’s social skills, creativity, and dexterity. By expanding this to a virtual world, it is possible to provide a greater variety of play by removing restrictions on doll movements. But if everything is replaced by the virtual world, the advantages of the real world are lost. We proposed “GetToyIn,” a box-shaped device that seamlessly connects the real and virtual worlds by making the doll appear to move between the two worlds. We implemented an integrated dollhouse that connects the real and virtual worlds using GetToyIn and set the parameters of GetToyIn through preliminary experiments. We confirmed that children can play with a dollhouse that combines the real and virtual worlds with the proposed system through an observational experiment. We then proposed design guidelines for designing a dollhouse that seamlessly connects the real and virtual worlds.

Keywords: augmented reality, input device, dollhouse, pretend play, design guidelines

1. はじめに

人形を用いたごっこ遊びは, 幼少期の子供の心身の成長に対し重要な役割を果たす. ごっこ遊びを通して社会的役割を疑似体験することで, 問題解決能力, 社会的言語能力の発達が期待される [3]. ごっこ遊びの1つに, ミニチュア

人形と小物を組み合わせて日常生活を再現するドールハウス遊びがある. ドールハウス製品であるシルバニアファミリー^{*1}には, 大人の生活の真似を促す効果, 基本動作能力やコミュニケーション能力を育む効果が備わっている^{*2}. タンジブルな玩具であるドールハウスは, 人形の挙動や提供可能な舞台設定に制約があり, 子供は, 動かない人形を

¹ お茶の水女子大学
Ochanomizu University, Bunkyo, Tokyo 112–8610, Japan
a) ozaki.honoka@is.ocha.ac.jp
b) yuki@is.ocha.ac.jp

^{*1} <https://www.sylvanianfamilies.com/ja-jp/>

^{*2} <https://www.sylvanianfamilies.com/ja-jp/world-view/parents.php>



図 1 作成したドールハウス全体像

Fig. 1 Overall picture of the dollhouse.

自身の手で動かしてごっこ遊びを行う必要がある。近年は、Minecraft^{*3}やどうぶつの森^{*4}など、幅広い表現が可能な仮想世界を舞台としたデジタルゲームが普及している。ドールハウスについても、画面内に3次元コンピュータグラフィックス（以下、CG）による仮想ドールハウスを構築し、ここに人形をCGキャラクターとして表示することで、幅広い動作や表現を活用した遊びが実現可能と考えられる。またCGによって、収納場所、片付けの手間を気にすることなく、多彩な部屋や小道具を提供可能である。しかしドールハウス遊びにおいて、実物体を動かし実世界の舞台でごっこ遊びをすることが子供の成長を促す側面も大きい。実世界の遊びのすべてを仮想世界に置き換える場合、これらの効用が失われてしまう懸念がある。実世界の遊びの利点を活かしつつ、遊びを拡張するためには、実世界と仮想世界の遊びを両立させる手法を検討する必要がある。

本研究の目的は、実世界と仮想世界をシームレスにつなぐドールハウスの構築と、その設計指針の作成である。我々は、人形が実世界と仮想世界の間を移動しているかのように感じさせることで、2つの世界をシームレスにつなぐ箱型装置“GetToyIn”を提案した[9]。これを用いて実世界と仮想世界を接続した一体型ドールハウスを構築し（図1）、事前実験を通してGetToyInのパラメータを設定した。実装したシステムを用いて親子実験を行い、子供が実世界と仮想世界を組み合わせたドールハウス遊びを展開可能であることを確認した。また、実験観察結果をもとに、実世界と仮想世界をつなぐドールハウスの設計指針を示した。

本論文の構成は、2章に関連研究をまとめ、3章で提案手法について述べたあと、4章に実装について詳細を記す。5章に大人を対象とした事前実験、6章、7章に親子を対象とした実験とその結果について記す。8章に実世界と仮想世界をつなぐドールハウスの設計指針と考察を記し、9章で今後の展望を述べ、10章で全体をまとめる。

2. 関連研究

2.1 デジタル機器を用いた遊びの拡張

物理的な玩具とデジタル機器を組み合わせることで、ごっこ遊びの可能性を広げる試みが行われている。Sugiuraらは、お気に入りの人形の手足などに取り付けることでそれらの一部を自動で動かすリング型デバイス“PINOKY”を開発し、ユーザーがごっこ遊びを行う様子を確認した[14]。Tsengらは、ぬいぐるみに機器を取り付けジェスチャーを作成し、これに音を対応づけることでストーリーテリングを強化するシステム“PlushPal”を提案した[15]。これらは比較的大きく変形が容易な人形や玩具を対象としており、ドールハウスへの適用は困難である。小型人形に関して、筆者らは、Bluetooth通信する小型ロボット人形を用いたドールハウスシステムを開発している[18]。しかし小型人形は、サイズの制約上機構の取り付けが難しく、実現可能な動作が限られている。

また、人形が置かれる環境に機器を組み込み、遊びを拡張する研究も行われている。Hinskeらは、RFIDタグを取り付けた人形や小物を用いて子供のための拡張玩具環境を実装し、設計のガイドラインを示した[7]。Freedらは、電話やメールなど遠隔地との通信機能をドールハウスに組み込むことで、人形を介した子供同士の遠隔コミュニケーション手法を提案した[5]。Avrahamiらは、実物体とタブレットの組合せ手法の提案の中で、人形の位置や向きを検出しタブレット表示を変化させることで、人形の食事シーンなどを表現する手法を提案した[2]。さらに、ドールハウスとCGの連携に関する研究も行われている。Sugayaらは、実世界の環境変化を温度センサや光センサで検出し、これを画面に表示されたCGドールハウスに反映させる手法により、デジタル教材としてのドールハウスが、子供のコミュニケーションの発達に寄与する可能性を示した[13]。

人形内部や人形が置かれる環境にデジタル機器を導入する手法は提案されているが、小型人形を用いるドールハウス遊びにおいて、これらの手法では人形を生き生きと動作させることは難しい。本研究では、人形と同一サイズのCGキャラクターを用いて、人形の動作を拡張する。さらに、実世界と仮想世界を連携させるシステムを提案し、実人形とCGキャラクターの同一性を感じさせることで、小型人形の機能を拡張する手法を提案する。

2.2 実物体と仮想物体を連携させるインタラクション

ゲーム市場では、実世界の物体と仮想世界のCGキャラクターを掛け合わせた製品が販売されている[16]。スカイランダーズ^{*5}や、amiibo^{*6}は、フィギュアに取り付けられたRFIDタグを読み取ると、対応したCGキャラクターが画面

*3 <https://www.minecraft.net/ja-jp>

*4 <https://www.nintendo.com/jp/switch/acbaa/>

*5 <https://www.jp.square-enix.com/game/detail/skylanders/>

*6 <https://www.nintendo.com/jp/hardware/amiibo/>

内に登場する仕組みを持つ製品である。このようなゲームに関連して、人形に加速度センサや圧力センサを取り付け、CG キャラクタをコントロールする試みも行われている [1]。さらに、Grigore らは、CG キャラクタから生き物の形状のロボットへ、エージェントの形態を移行させる表現手法を提案し、ソーシャルプレゼンスへの効果を確認した [6]。このように、実物体と CG キャラクタを連携させる試みは行われているが、実物体は CG キャラクタの出現、消失イベントを発生させる単なるトリガーであり、実物体が仮想世界に出入りする仕掛けは提供されていない。仮想世界に CG キャラクタが出現しているときも、実物体は機器などに放置されたまま存在している。本研究では、1つの人形が実世界と仮想世界の間を移動するのよう感じさせることで、実物体と CG キャラクタを連携させるシステムを提供する。

拡張現実を用いたインタラクションにおいては、実物体を仮想世界に入れる、逆に仮想物体を実世界に取り出すかのような操作方法を提供し、実世界と仮想世界を円滑に連携させる仕組みが古くから提案されている。Rekimoto らは、テーブルに置かれた写真や名刺などを仮想物体として PC に取り込むシステム [10] を、Siiro らは、PC 画面内の GUI アイコンを実世界の紙アイコンとして取り出す手法 [12] を実装した。実世界と仮想世界の境界において、実物体と CG の動きを連携させる試みも行われている。伊豫田 らは、伸縮性のあるのれん状スクリーンを開発し、実物体の野球ボールを画面正面から仮想世界に投げ込むインタラクションを実現した [17]。さらに、Nakagaki らは、メイン・バックステージを利用した、自走式小型ロボットの出現、消失手法事例とその応用例を作成した [8]。Robert らは、物理的な物体と画面上のキャラクタの連続性を表現した子供向けのブロック型のロボットを開発した [11]。これらは自走式ロボットが実世界、仮想世界をまたいで走行する際の表現を工夫することで、2つの世界の連続性を演出している。本研究は、箱型装置を用い、実世界では動かない物体をユーザが仮想世界に送ることで、それらが自力で動き出したように感じさせる手法を提案する。また、小型 RFID を用いて人形や小物の識別を行い、多くの種類の物体を扱う。

3. 提案手法

3.1 実世界と仮想世界をつないだドールハウス

我々はこれまでに、人形が実世界と仮想世界の間を移動しているのよう感じさせることで、2つの世界をシームレスにつなぐ箱型装置 GetToyIn を提案した [9]。そして、画面内に CG による仮想世界を作成し、実人形を仮想世界に出し入れする仕組みを実装した。これを応用し、本研究では市販のドールハウス*7の1階部分にディスプレイを組

み込み、画面内の仮想世界と実世界の玩具を GetToyIn でつないだドールハウスシステムを構築した (図 1)。画面には仮想ドールハウスが、実ドールハウスと同様のデザインと距離感で描画され、実世界と仮想世界が連続しているかのような視覚効果をユーザに提供する。ディスプレイの奥は遮蔽されているが、手前は実空間としてドールハウス遊びに使用可能である。実世界と仮想世界は GetToyIn で接続されており、人形や小物はこれを通して双方の世界の間を移動する。

ユーザが実人形を仮想世界に入れる手順について、図 2 上段に沿って説明する。GetToyIn はディスプレイの隣に設置されており、画面には、扉の役割を果たす箱の側面が CG で描かれている。(a) ユーザは実扉を開けて箱の中に実人形を入れ、(b) 扉を閉める。すると、(c) 画面内の CG 扉が開き、ここから人形と類似した形状の CG キャラクタが歩み出る。実際には人形は箱の中に存在するが、扉により隠されユーザには認知できないため、人形が箱から画面内に移動したかのような錯覚を与える。これは、箱の中に人や物を入れ、これを消失、移動させる手品に類似した錯覚利用手法である。また、人形を入れた箱と隣接する画面位置から CG キャラクタが歩み出ることにより、実人形と CG キャラクタが同一のものであるかのような錯覚を作り出している。

CG 画面から人形を取り出す際にも同様の錯覚を利用する。流れを図 2 下段に沿って説明する。ユーザが扉の横に設置されている呼び鈴スイッチを押すとチャイム音が鳴る。これに気づいた CG キャラクタは、(d) CG 扉に向かって歩き、箱の中に入る。(e) CG 扉が閉まり、CG キャラクタが画面から見えなくなると、(f) 実扉が自動的に開く。箱の中には先程入れた人形が入っているだけであるが、ユーザには仮想世界から人形が現れたかのような錯覚を与える。

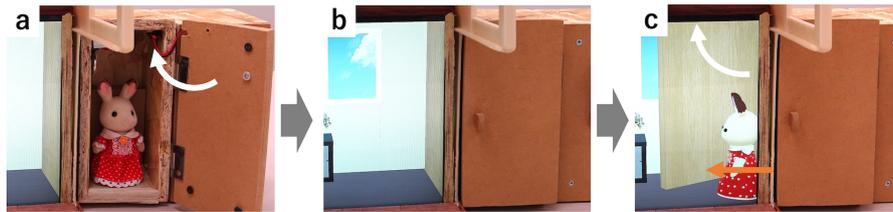
また、本手法を応用して、CG キャラクタにオブジェクトを渡すための、小物用 GetToyIn をディスプレイ上部に設置した (図 3)。小物を仮想世界に入れるためには、(a) 実扉を開けて箱に小物を入れ、扉を閉める。すると、(b) (c) 画面上部から、小物に対応した 3D オブジェクトが、トレーに乗せられ降りてくるアニメーションをともなって仮想世界に登場する。今回、小物用 GetToyIn は、小物を CG キャラクタに渡す役割として導入したため、実世界から仮想世界への移動機能のみを付与した。

3.2 CG キャラクタ操作

CG キャラクタを動かす方法として、コンピュータからのトリガーによりキャラクタが自律的に動作する「オート動作」と、人が動作イベントを入力する「マニュアル操作」が考えられる。オート動作には、時刻でランダムに発生する手法、実世界遊びの動きを入力として動作を生成する手法などがあるが、適切な自律動作を生成するための導入コ

*7 エポック社：はじめてのシルバニアファミリー

実世界から仮想世界への移動



仮想世界から実世界への移動



図 2 人形が実世界と仮想世界の間を移動する様子

Fig. 2 How the doll moves between the real and virtual worlds.

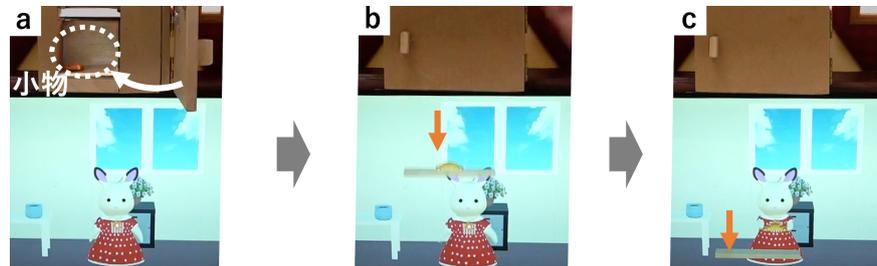


図 3 実世界から仮想世界へ小物を移動させる様子

Fig. 3 Moving small objects from the real world to the virtual world.

ストが高いと考えられる。そのため今回は、人が遊びの状況に合わせて自身で動作を決定可能なマニュアル操作を採用し、操作用のボタン式パネルと、入力に応じてCGキャラクターのアニメーションを再生する機能を実装した。これにより、ボタン式パネルを子供の遊びに応じて操作することで、親が遊びに参加する使い方が考えられる。将来的には、手動で入力された動作ルールを学習し、これを実世界センシングと組み合わせることで、オート動作システムの実装を検討したい。

4. 実装

実装したドールハウスのシステム構成を図 4 に、ユーザが使用するパーツの名称を図 5 に示す。本システムはコンピュータ（以下、PC）*8、10 インチ液晶ディスプレイ（1,024 × 600 画素）、箱型装置 GetToyIn、ボタン式パネル*9から構成される。

4.1 箱型装置 GetToyIn

ドールハウスには、2種類の箱型装置 GetToyIn を設置した。人形用 GetToyIn（H 136 mm、W 85 mm、D 72 mm）

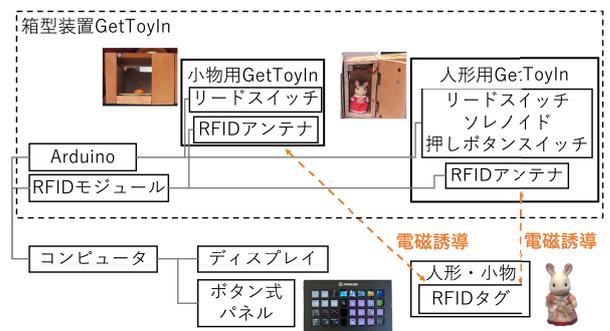


図 4 システム構成

Fig. 4 System configuration.



図 5 ユーザが使用するパーツの名称

Fig. 5 Names of the parts used by the user.

*8 MacBook Pro, Apple M2 Pro, OS 13.3.1

*9 Elgato Stream Deck XL

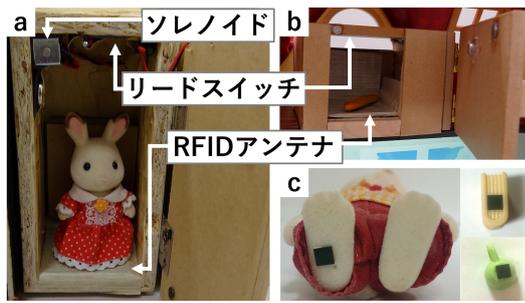


図 6 (a) 人形用 GetToyIn, (b) 小物用 GetToyIn, (c) RFID タグ
Fig. 6 (a) GetToyIn for dolls, (b) GetToyIn for small objects, (c) RFID tags.

はディスプレイ右隣に設置されている (図 6(a)). 以降, これを単に GetToyIn と呼ぶ. 箱の正面から見て右側に蝶番があり, 扉は手前に開く. 装置には, 扉の開閉を検出するリードスイッチ, 扉を開くためのプッシュ型ソレノイド*10が, 隣には人形呼び出し操作を検知するための押しボタンスイッチが取り付けられている. なお, 閉扉はユーザが手動で行う. 小物用 GetToyIn (H 67 mm, W 95 mm, D 90 mm) はディスプレイの上部中心位置に設置されている (図 6(b)). 箱の上部には扉の開閉を検出するリードスイッチが取り付けられている. これらの機器を制御するためのプログラムを PC 上で作成し, Arduino UNO に組み込んだ. また 2 種類の GetToyIn の底面には 13.56 MHz の電磁誘導方式 RFID システム*11を採用したアンテナが設置されている. これは, 人形や小物の底面に貼付された 4 × 4 mm の RFID タグ*12 (図 6(c)) を識別する. 小型のタグを床面全体で漏れなく検出するため, 各装置には RFID アンテナ (W 15 mm, D 52.5 mm) を 3 枚ずつ設置し, アンテナ切替機により順に通信を行っている. 本実装でリーダとタグの通信可能距離は 1 cm 程度であった. この RFID システムは複数タグの同時読み取りにも対応している.

4.2 ソフトウェア

PC 上で Unity を用い, 図 7(a) のようにドールハウスの仮想世界部分を構築した. また, GetToyIn と仮想世界を連携させるために, Unity で稼働する C# スクリプトを開発した. このスクリプトは, PC に USB ケーブルで接続された Arduino UNO および RFID リーダモジュールとシリアル通信を行う. さらに, このスクリプトは, 人形の識別, 画面内に存在する CG 扉の開閉, 仮想世界のアニメーションの切り替え, イベントに応じた効果音の再生, 自動開扉などの一連の動作を行い, 人形出し入れのシナリオを実行する. CG キャラクターのモデリングには Blender を用い, 実際の人形と同型の 3D オブジェクトを作成した (図 7(b)).

*10 ZHO-0420S-05A4.5 (5V)

*11 タカヤ株式会社 TR3-A302 および TR3-C202

*12 RF37S114HTFJB Tag-it HF-I Type 5 NFC

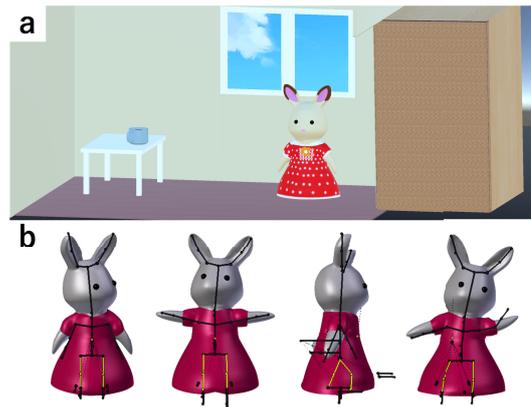


図 7 (a) Unity で構築した仮想ドールハウス, (b) Blender で作成した CG キャラクター

Fig. 7 (a) Virtual dollhouse built with Unity, (b) CG characters created with Blender.

また, 人形の顔や洋服の柄に対応するテクスチャを描画した. さらにオブジェクトのボーンを生成し, 歩く, 振り返るなどのアニメーションを作成した. こうして完成した 3D オブジェクトを Unity に取り込み, 仮想ドールハウスで動作させた. CG キャラクターの操作は, PC に接続されたボタン式パネルで行う. ディスプレイ上で表示されている CG キャラクターのサイズは, 実人形のサイズと同一である. ドールハウスの小物の CG オブジェクトに関しては, Unity アセットストアで購入したモデルを使用した.

5. GetToyIn のパラメータ設定実験

実装したシステムにおいて, CG キャラクターの移動速度と, GetToyIn の扉で人形を遮蔽する時間に関して, 人が自然と感じる最適値を求める実験を行った.

5.1 実験目的

GetToyIn は, 実扉の開閉と, CG キャラクターが CG 扉に出入りするアニメーションによって, 実世界と仮想世界の連続性を表現している. 我々は, CG キャラクターが CG 扉に出入りする際に, 人が自然な動きと期待する CG キャラクターの移動速度があると考えた. また, 出入りの流れにおいて, 図 2(b), (e) のように, 実人形が扉により隠され, かつ, CG キャラクターが仮想世界に現れていない, つまり人形が実世界にも仮想世界にも存在しない瞬間が存在する. この時間は, ユーザに人形の動きを想像させ, 実世界と仮想世界の連続性を強化する役割を持つ. 我々は, 遮蔽時間についても, 人が自然と感じる値が存在すると考えた. さらに, CG キャラクターの移動速度により, この値が変動するという仮説を立て, 実験を通して以下を求めることにした.

- ユーザが自然と感じる CG キャラクターの移動速度
- CG キャラクターの移動速度とユーザが自然と感じる遮蔽時間の関係

本実験で求めた値を, 6 章の親子対象実験に採用するこ

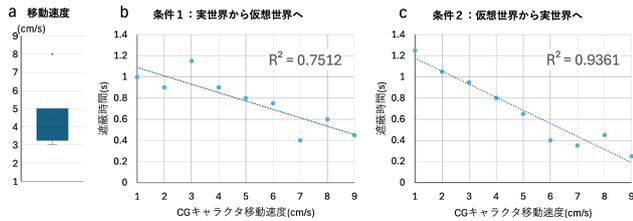


図 8 (a) CG キャラクタ移動速度の結果, (b) 条件 1 の遮蔽時間の中央値, (c) 条件 2 の遮蔽時間の中央値

Fig. 8 (a) CG character speed values, (b) Median occlusion time for condition 1, (c) Median occlusion time for condition 2.

とで、実世界と仮想世界の連続性を強化し、子供の遊び体験の効果を高めることが期待される。提案システムは子供を対象としているが、今回は数値の設定が目的であるため、実験意図を理解可能な、21 歳～30 歳（平均：26.00 歳）の 8 名（男性 4 名、女性 4 名）の大人を対象にした。人形は、図 2 で使用されている「ショコラウサギの女の子」を用いた。

5.2 実験手順

はじめに、最適な CG キャラクタの移動速度を求める実験を行った。被験者は、歩行する CG キャラクタの速度を 1 cm/s 刻みで変化させ、最も自然と感じる値を選択した。次に、以下に説明する条件 1, 2 について、CG キャラクタの移動速度に応じた最適な遮蔽時間を求める実験を行った。

条件 1：実世界から仮想世界へ移動 遮蔽時間はユーザが実扉を閉めてから CG 扉が開くまでと定義する。遮蔽中には「人形がディスプレイの方向を向き、箱から歩み出る」という動きが期待される。(図 2(a)~(c))

条件 2：仮想世界から実世界へ移動 遮蔽時間は CG 扉が閉まってから実扉が自動で開くまでと定義する。遮蔽中には「箱の中の人形が実扉の方向を向き、押す」という動きが期待される。(図 2(d)~(f))

被験者は、GetToyIn の使用方法と、遮蔽中に期待される人形の動きについて説明を受けた。そして、0 秒から 10 秒の範囲内で 0.1 秒間隔で遮蔽時間を変更しながら、人形を実世界と仮想世界の間で移動させる体験を繰り返し、最も自然と感じる遮蔽時間を選択した。この作業を、CG キャラクタの移動速度を 1 cm/s~9 cm/s の範囲内で 1 cm/s 刻みで変化させた 9 条件について行った。各条件はランダムに提示された。各条件において、CG キャラクタの移動速度以外の条件は統一した。

5.3 実験結果

実験結果を図 8 に示す。本実験の目的は、子供向け実験で採用する値の設定であるため、多くのユーザの許容範囲内の数値に設定されるよう、中央値に着目した。

被験者が自然と感じた CG キャラクタの移動速度の中央

値は、4 cm/s であった (図 8(a))。また、CG キャラクタの移動速度に応じた最適な遮蔽時間の中央値を図 8(b), (c) に示す。CG キャラクタの移動速度が速いほど、最適な遮蔽時間は短くなることが分かった。移動速度が速いことにより、CG キャラクタが急いでいる印象を受け、その結果、箱から出現する時間も短いことが期待されたと考えられる。

また、条件 1, 2 それぞれについて回帰分析を行った。y が遮蔽時間、x が CG キャラクタの移動速度である。

$$y = -0.08x + 1.17 \quad (R^2 = 0.75) \quad (1)$$

$$y = -0.12x + 1.30 \quad (R^2 = 0.94) \quad (2)$$

条件 1 に比べて、条件 2 のほうが決定係数 R^2 の値が大きく、回帰式によくあてはまっている。これは、条件 1 では遮蔽時間の後に CG キャラクタの移動が提示されるのに対し、条件 2 では、CG キャラクタの速度（急ぎ具合）を理解した後に遮蔽が行われるため、期待される遮蔽時間が統制されたことが原因だと考察される。

今回の実験において、自然と感じる遮蔽時間の値については個人差があった。これは、移動速度以外にも、被験者自身が思い描く人形の性格や行動など、遮蔽時間に影響を与える要素があるためと考えられる。また、人形の大きさやデザイン、人形を箱に入れる速度や扉を閉める速度などの実世界の状況に応じて、最適な遮蔽時間は変動すると考えられる。将来的には、移動速度に加え、人形や状況に基づく複数の条件に応じて遮蔽時間を調整する機能を導入することで、より自然なインタラクションが実現可能と考えられる。

また、遮蔽時間が被験者自身の想定より長い場合と短い場合、どちらが許容可能か質問したところ、8 名全員が「長い場合」と回答した。その理由として、想定より短い場合は違和感や不自然さがあり、ただシステムが連携しているだけのように感じてしまうから、想定より長い場合は中々うざざが何かしら作業をしているように思えたからなどの意見が得られた。一方で、長い方が現実味があるが、想定より大幅に長いとシステム不具合を疑ってしまう可能性があるという意見もあった。将来的には、許容可能な遮蔽時間を追加調査する、音や振動のエフェクトを加えることで不具合でないことを演出するなどの工夫が必要である。

5.4 システムへの反映

本実験を元に、6 章で述べる実験におけるパラメータを決定した。CG キャラクタの移動速度は、各被験者が選んだ値の中央値から、4 cm/s と設定した。また、「人形が急ぐ」場面に対応するため、CG キャラクタの動作のバリエーションとして、通常速度の 2 倍である 8 cm/s を、「早歩き」として採用した。遮蔽時間については、4 cm/s, 8 cm/s の 2 種類の移動速度において、被験者が設定した最適値の中央値を採用した。その結果、実世界から仮想世界への移動

における遮蔽時間を通常時 0.9s, 早歩き時 0.6s, 仮想世界から実世界への移動における遮蔽時間を通常時 0.8s, 早歩き時 0.45s に設定した. 今回は, それぞれの移動速度に対して取得した実験結果の中央値を採用したが, 将来的には, 式 (1), (2) に従って, CG キャラクタの移動速度に対応した遮蔽時間を割り当てたい. また, 将来的には子供を対象にした実験手法を検討し, 子供にとってもこの数値が適切であるかを検証したい.

6. 親子を対象にした観察実験

GetToyIn を用いることで, 子供が実世界と仮想世界を組み合わせたドールハウス遊びを展開可能か確認するため, 子供と保護者を対象とした評価実験を実施した (図 9). 参加者は, ドールハウス玩具利用者を想定した 4 歳~10 歳 (平均 6.31 歳) の子供 13 名 (男児 6 名, 女児 7 名) と, その保護者 12 名 (父 3 名, 母 9 名) である. 子供のうち 4 組は兄弟姉妹であり, 3 組は父母それぞれが, 1 組は同一の母親が保護者として参加した. 本実験は, お茶の水女子大学生物医学的研究の倫理特別委員会での承認をうけて実施した (承認番号第 2023-12 号).

6.1 実験目的

実験は, 以下の仮説 H1, H2 の検証を目的とした.

H1: 提案システムが提供する実世界と仮想世界を, 子供は



図 9 本システムでドールハウス遊びを行う親子

Fig. 9 Parents and children playing with a dollhouse using the proposed system.

シームレスな空間として認識し, ごっこ遊びシナリオを展開することが可能である

H2: 提案システムを用いて子供自身がシナリオに応じ実世界と仮想世界を使い分け, 遊びを拡張することが可能である

6.2 シナリオ設計

「料理」「洗濯」の 2 種類の, 実世界と仮想世界を組み合わせたドールハウス遊びシナリオをあらかじめ用意した (表 1). これらのシナリオは, 以下の 4 種類の要素を含む.

- 実物体を用いた作業 (実世界)
- シナリオトリガー (仮想世界)
- 感情表現 (仮想世界)
- 実世界・仮想世界間の移動 (実世界, 仮想世界)

どちらのシナリオも CG キャラクタによる仮想世界でのシナリオトリガーから開始するが, 料理シナリオは, CG キャラクタに対して実世界の小物を用いた作業を行い, 洗濯シナリオは, 人形の出し入れにより実人形を用いた作業を行うという違いがある.

6.3 機能実装

CG キャラクタについて, 6.2 節で記述したシナリオに対応する挙動, 遊びの状況に応じて臨機応変に提示可能な挙動を実装した. 作成した挙動の例を表 2 に, CG キャラクタ表現の例を図 10 に示す. 表情による感情表現については, 基本的な 6 感情 [4] の中から, ドールハウス遊びのシナリオの中で理解が容易と考えられる喜び, 悲しみ, 驚

表 2 実装した CG キャラクタ挙動例

Table 2 Basic movements of CG characters.

実世界でも可能な動作	仮想世界ならではの動作
ジャンプする	表情を変える
前後左右に進む	食べる, 飲む

表 1 作成した 2 種類のシナリオ

Table 1 Two types of scenarios created.

シナリオ	ステップ	使用する世界	動作の要素
料理	1. CG キャラクタのお腹が鳴る	仮想世界	シナリオトリガー
	2. 子供が料理によって食べ物を準備する	実世界	実物体を用いた作業
	3. 子供が食べ物を仮想世界に移動させる	実世界→仮想世界	実世界・仮想世界間の移動
	4. CG キャラクタが料理を食べる	仮想世界	シナリオトリガー
	5. CG キャラクタが喜ぶ	仮想世界	感情表現
洗濯	1. CG キャラクタの服が汚れる	仮想世界	シナリオトリガー
	2. CG キャラクタが悲しむ	仮想世界	感情表現
	3. 子供が CG キャラクタを実世界に移動させる	仮想世界→実世界	実世界・仮想世界間の移動
	4. 子供が人形の服を洗濯する	実世界	実物体を用いた作業
	5. 子供が人形を仮想世界に移動させる	実世界→仮想世界	実世界・仮想世界間の移動
	6. CG キャラクタの服が綺麗になる	仮想世界	シナリオトリガー
	7. CG キャラクタが喜ぶ	仮想世界	感情表現

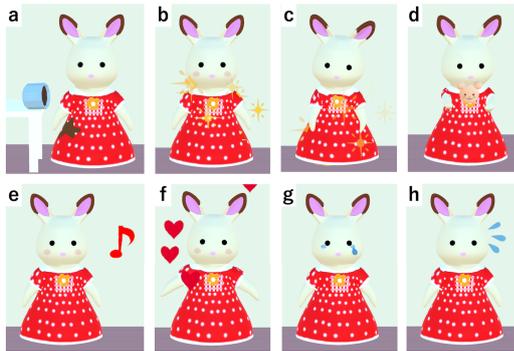


図 10 シナリオトリガーや感情を表す CG キャラクタ表現の例。(a) 服を汚す, (b) 綺麗になる, (c) お腹が空く, (d) 食べる, (e) 喜び, (f) 大喜び, (g) 悲しみ, (h) 驚き

Fig. 10 Examples of CG character expressions of scenario triggers and emotions. (a) get clothes dirty, (b) get clean, (c) get hungry, (d) eat, (e) happy, (f) great happy, (g) sad, (h) surprise.

表 3 実装したサウンドエフェクト例

Table 3 Implemented sound effects.

動作	サウンド	利用シナリオ
お腹が空く	お腹が鳴る音	料理
食べる	ポリポリ	料理
こぼす	ポチャン	洗濯
歩く	足音	全体
雨が降る	雨音	全体



図 11 操作用ボタン式パネルと対応例

Fig. 11 Button panel for operation and examples of corresponding expressions.

きの表現を実装した。そのうち、喜びと驚きについては、シナリオに合わせて2段階の表現を提示できるように2種類の実装を行った。また、仮想ドールハウスには窓がついており、ここから見える景色を変化させることで、時刻(昼、夕方、夜)、天気(晴れ、曇り、雨)の表現を実装した。さらに、シナリオトリガーや一部の人形の動作には、サウンドを付与した(表3)。これらの基礎動作、および6.2節で述べたシナリオは、ボタン式パネル(図11)によって操作可能であり、実験中は保護者が操作をする。

6.4 実験手順

はじめにH1検証のため、被験者は事前に用意したシナリオに沿ってドールハウス遊びをした。次にH2検証のため、被験者は自由なドールハウス遊びを展開した。遊びの

観察、インタビューを通して、これらの仮説を確認した。すべての実験の様子は、被験者の同意を得たうえで動画記録された。

6.4.1 事前準備

保護者は、「料理」「洗濯」の2つのシナリオの概要と、ボタン式パネルによるシステム操作方法について10分程度レクチャーを受けた。その間、子供は既存のシルバニアファミリー製品で自由に遊んだ。

6.4.2 シナリオに沿った遊び展開

まず、親子は市販の人形と小物のみを用い、「料理」「洗濯」いずれかのシナリオについてドールハウス遊びをすることで、従来の遊びを体験した。保護者は、事前説明に沿って人形を動かしたり、セリフを発して遊びをサポートした(試行1)。

その後、親子は提案システムを用い、遊び空間を仮想ドールハウスに広げた環境を体験した。ドールハウス遊びを始める前に、親子は、提案システムに関する以下の操作についてレクチャーを受けた。

- 人形を1体、GetToyInに入れ、扉を閉め、仮想ドールハウスにCGキャラクタを登場させる。
- 小物を、小物用GetToyInに入れ、扉を閉め、仮想ドールハウスへCGオブジェクトを登場させる。
- 呼び鈴スイッチを押し、仮想ドールハウスからCGキャラクタを退場させ、箱から人形を取り出す。

すべての準備、レクチャーが終了した後、親子は「料理」「洗濯」のうち試行1とは異なるシナリオについて、提案システムを用いて表1の流れで遊びを体験した。その際、保護者は事前説明に沿って、子供の動作に合わせてボタン式パネルを使用してCGキャラクタを動かした(試行2)。

シナリオの体験順は被験者ごとにランダムで設定した。双方の条件において、子供が動作に困った場合には、口頭で最低限の教示を追加した。この手順では、パラメータ設定実験の結果を適用するため、5章と同じ「ショコラウサギの女の子」の人形を用いた。

今回は被験者が低年齢であることから、提案手法の体験後に従来の人形遊びを行うと、ディスプレイなどに強く興味を示してしまい試行を遂行できない可能性を考慮し、すべての被験者に対して、実世界のみの遊び、実世界と仮想世界を組み合わせた遊びの順で体験をしてもらった。今後、多人数に対するグループ間実験の実施を検討する必要がある。

6.4.3 提案システムでの自由遊び体験

シナリオ終了後、すべての機能を使用可能と伝え、約10分間提案システムを用いて自由にドールハウス遊びをしてもらった。さらに希望者には10分程度延長を許した。

6.4.4 インタビュー

すべての体験が終了した後、保護者に対し、ふだんのドールハウス遊びと今回の体験についてインタビューを実施し

た。この間、子供には自由に遊びを続けてもらい、ボタン式パネルを自身で操作することも可能とした。最後に、子供に簡単なインタビューを実施し、実験を終了した。

7. 親子を対象にした観察実験結果

本章では、7.1 節にドールハウス遊び経験についてのアンケート結果、7.2 節～7.5 節に提案システムに対する子供の遊びの様子の結果、7.6 節、7.7 節に提案システムに対するインタビュー結果を記す。

7.1 ドールハウス遊び経験について

被験者のこれまでのドールハウス遊び経験を調査するため、ふだんのドールハウス遊びについて質問した。保護者インタビューによると、実験に参加した子供 13 名のうち、7 名がドールハウスを所持していた。これまでにドールハウス遊び経験がある子供の人数は、女兒被験者は 7 名中 6 名だったのに対し、男児被験者は 6 名中 1 名のみであった。ドールハウス遊び経験がある子供の保護者に、現在の遊び状況について尋ねた。4 歳～5 歳の子供は現在もドールハウス遊びを行っているとの回答が得られたが、7 歳以上の子供は、3 歳～4 歳ごろは遊んでいたが、現在はやめてしまっていることが分かった。

7.2 GetToyIn に対する子供の反応

年齢にかかわらず、すべての子供が GetToyIn による人形の移動の仕組みを 1 回のレクチャーで理解し、自分自身でこれを行うことが可能であった。また、試行 2 で仮想世界に入れることを指示した人形を除いて、2 回～7 回（平均 3.85 回）の人形の出し入れ操作を行った。7 名の子供は、実験者が伝える前に、レクチャーで箱に入れた人形とは異なる人形を箱に入れることを自発的に試みた。人形を箱に入れ、仮想世界に CG キャラクタが現れた際、子供は驚きや喜びの反応を示した。また、「世界に行ってる」「来た」のように、実世界と仮想世界の間の移動に対し理解を示す発言が確認された。また、CG キャラクタが現れたディスプレイの裏を確認しようとした子供もいた。

一方で、RFID タグがリーダーに認識されず、GetToyIn に入れられた人形や小物に対応した CG オブジェクトが仮想世界に現れない場合があった。タグが小型であることから検出可能範囲に制限があり、人形の足の角度や、小物の設置の向きによっては取り付けられたタグとリーダーの距離がこれを超えてしまったことが原因と考えられる。また、人形を仮想世界から実世界に移動させる際、呼び鈴スイッチを押して自動で扉を開けるのではなく、子供自身が直接実扉を開けてしまう行動が観察された。この際、画面上の CG キャラクタは、扉が開けられたことを検出した瞬間に消失する仕様であった。

GetToyIn を実世界と仮想世界の間の移動ツールとして

用いるだけでなく、ドールハウス遊びのシナリオの一部に取り込む子供の様子が観察された。使用方法のレクチャーでは、「箱に人形を入れる」という手順のみを伝えていたが、3 名の子供が、箱に向かって人形を歩くように動かしながら、シナリオの中で人形が自らの意思で仮想世界へ移動しているかのように表現した。また、実人形が GetToyIn の実扉をノックし、「そっちに行きたい」と訴えるシナリオを 3 名の子供が創作し、実扉が自動で開いたとき、箱の中にいる人形を、すでに実世界にいた人形が出迎えるシナリオを 2 名の子供が創作した。さらに、呼び鈴スイッチを子供自身の指でなく実人形の手で押すというシナリオを 2 名の子供が、実扉を少しだけ開き実人形が箱の中を覗き込むというシナリオを 1 名の子供が行った。

また、小物用 GetToyIn についても同様に、すべての子供が 1 回のレクチャーで仕組みを理解し、使用可能であった。すべての子供が、様々な小物を箱に入れ、これを CG キャラクタに渡すことを試みた。小物用 GetToyIn は実世界から仮想世界への移動機能のみを持つ。そのため、子供が扉を自身で開けた際、仮想世界に送り込んだ物体が消失する仕様、そのまま仮想世界に残る仕様双方を実装し、被験者によって異なる仕様を試してもらったが、どちらの機能も、シナリオに大きな影響は与えていない様子だった。これは、最も多く遊ばれていたシナリオが「食事」であり、CG キャラクタが食べた CG オブジェクトは扉を開く前に仮想世界から消失するため、該当する事象があまり起きなかったことが原因であると考えられる。今後、シナリオを増やしていくにあたっては、小物用 GetToyIn を開いたときの挙動を小物ごとに設定する、これにも自動開扉の仕組みを入れるなどの工夫が必要になると考えられる。

7.3 シナリオに沿ったドールハウス遊びの観察

試行 1 の観察を通し、すべての親子が実世界のドールハウスで、シナリオに沿って従来のドールハウス遊びを実施可能であることを確認した。

試行 2 で料理シナリオを体験した子供は、CG キャラクタによるお腹が空くアニメーションを見て、食べ物をあげる必要があることを判断し、食べ物の小物を準備して、小物用 GetToyIn に入れた。洗濯シナリオを体験した子供は、洋服が汚れるアニメーションを見て、洋服を綺麗にしなければならないことを理解していた。一部の子供は、人形を取り出さずに、洗濯機の小物を仮想世界に入れようとした。今回は、実物の洗濯機の小物を用い洗濯を行ってもらうことが目的であったため、この場合には教示を与えた。洋服を着せる作業は、4 歳～5 歳の子供には困難であったため、一部を保護者が補助した。1 度目は保護者に補助してもらったが、2 度目以降は自分で着せることができるようになった子供もいた。また、一部の子供は、実世界に現れた人形の洋服を確認し、現実には洋服が汚れていないこと

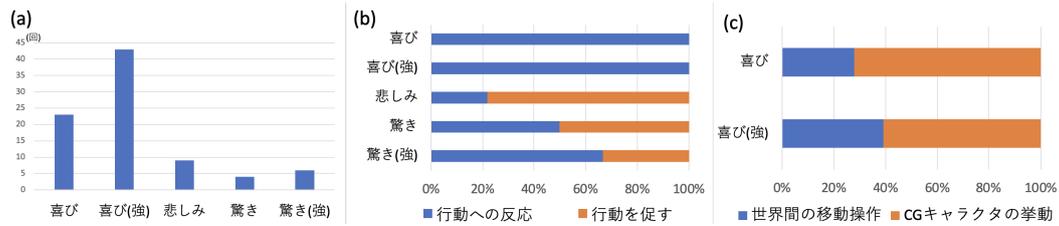


図 12 (a) 自由遊びにおける感情ボタン押下回数, (b) 感情ボタンの持つ役割, (c) 喜びボタンが押された対象

Fig. 12 (a) Number of presses of emotion buttons during free play, (b) Role of emotion buttons, (c) Feedback target of the happy buttons.

に疑問を持った様子であった。この場合、再び人形を仮想世界に移動させ、洋服が汚れている様子を確認してもらった。実験を通して、すべての親子が実世界と仮想世界を組み合わせて、あらかじめ準備されたドールハウス遊びシナリオを実施可能なことが確認された。また、保護者は、CGキャラクターを操作し、シナリオに沿ってドールハウス遊びを進行可能であった。

7.4 提案システムを用いた自由遊びの観察

すべての機能を解放した自由遊びでは、複数の形態の遊びが観察された。

小物用 GetToyIn に様々な小物を入れ、どのような CG オブジェクトが現れるか、これに対し CG キャラクターがどのように反応するかを試す様子が多く観察された。保護者は感情表現機能を、子供が実世界でとった行動に対するフィードバックとして使用した。たとえば子供がプレゼントの小物を入れた際、喜びの感情ボタンを押して嬉しい気持ちを表す様子が観察された。また、子供が実世界で料理を行い、食べ物の小物を小物用 GetToyIn に入れている間に、お腹が空くアニメーションを定期的に繰り返し急かすなど、遊びへの飽きを防止する用途で使用する様子も見られた。

自由遊びでも、実世界と仮想世界の間で人形を移動させる様子が観察された。仮想世界にいる CG キャラクターを実世界に移動させ実人形をソファに座らせたり、ベッドに入れて寝かせて休憩させたりするなど、CG キャラクターと実人形を同一の存在として扱い、ドールハウス遊びを行う様子も観察された。仮想世界から実世界へ人形を移動させるタイミングとして、「次はお父さんうさぎにごはんをあげよう」と子供自身が判断する場合と、「そろそろそっちに行きたいよ」と保護者がうさぎになりきり呼びかける場合があった。

また、提案システムを用いずに、実人形を着替えさせたり、小物に座らせる従来の遊びも引き続き行われた。

実空間と仮想空間を連携させて遊ぶ行動も見られた。テレビを CG キャラクターに向けて置き、これを見せることで、CG キャラクターと、実世界の小物を組み合わせて遊ぶ様子

が観察された。

自由遊びにおいても、子供の行動に応じて保護者がボタン式パネルを押下しシステムを操作の様子が観察された。CG キャラクター操作のうち、感情ボタンが押された回数を、誤操作を除き合計した結果、喜びの感情が多く押下されていた (図 12(a))。それぞれの感情が用いられたシナリオについて分析した結果を図 12(b) に示す。喜びの感情は、子供の行動に対する反応として用いられており、悲しみと驚きの感情は、子供の行動に対する反応、および子供に行動を促す役割として用いられていた。この結果から、子供に行動を促すよりも、子供の行動に対して反応をするシナリオのほうが保護者にとって容易であったことが、喜びの感情ボタンが多く押下された一因であると考えられる。今後、日常的に使用していくこと、仮想ドールハウスでのシナリオを増やすことで、子供に行動を促す役割を持つボタンの押下回数が増えることが期待される。喜びの感情についてさらに分析したところ、子供の行動に対する反応の表現は、プレゼントを仮想世界に送るなど、実世界と仮想世界の移動に対して直接押下されるケースと、仮想世界に送り込まれたパンを食べるなど、子供の行動に対して、CG キャラクターの挙動を行った後に押下されるケースに分類可能なことが分かった (図 12(c))。

また、仮想ドールハウスの窓の外の景色を変更することで天気や時間を表現し、シナリオを展開の様子が観察された。たとえば、夜になったことで夕食の準備を始める、雨が降ったことで傘を探すなどの遊びが観察された。さらに、CG キャラクターが「ジャンプ」するボタンは、「呼びかけ」「喜びの反応の強化」など複数の役割で用いられていた。以上の結果より、保護者は自由遊びにおいても、ボタン押下により仮想ドールハウスを操作し、ドールハウス遊びを展開可能であることを確認した。

7.5 年齢による遊び方の違い

年齢に応じて、遊びの傾向に違いが見られた。

4歳~6歳の子供では、実世界と仮想世界を密接に連携させて遊ぶ様子が観察された。たとえば、画面の前で実人形を持ち、CG キャラクターがジャンプする様子に合わせこれ

表 4 保護者へのアンケート結果

Table 4 Survey results for parents.

No.	質問	平均
Q1	システムの操作方法を理解することができたか	4.92
Q2	子供の遊びに応じ、チュートリアルに沿って本システムを操作することができたか	4.92
Q3	子供の遊びに応じ、自身の判断で本システムを操作することができたか	5.00
Q4	本システムが、子供のドールハウス遊びによる学びを向上させることができると思うか	4.58

と一緒にジャンプするように動かす子供がいた。また、掃除機の持ち手やコップを画面にくっつけ、CG キャラクタに渡して持たせようとするなど、実世界、仮想世界を混同した行動が見られた。さらに、実人形をドールハウスの2階の窓に移動させ、そこから画面上のCG キャラクタを覗いたり、かくれんぼのように実人形をCG キャラクタから見えない位置に移動させるなど、実人形を用いたCG キャラクタとのコミュニケーションを行う子供がいた。

7歳～10歳の子供では、実世界と仮想世界を交えたシナリオを作成する様子が観察された。たとえば、3体の人形を順番に入れて、それぞれに夕食を食べさせる、人形により異なる食事メニューを考えて与えるなどの行動が見られた。さらに、仮想世界に食べ物やプレゼントをあらかじめ設置してから人形を仮想世界に送り、CG キャラクタへのサプライズの演出を行う子供もいた。

映像の表象性理解に関する年齢別の発達状況の調査 [19] より、子供が仮想世界を実在する空間ととらえて遊んだか、仮想世界の概念を理解したうえで遊んだかにより、遊び方に差が出た可能性があると考えられる。将来的には、仮想世界に対する子供の認知を調査することで、より年齢にあった遊び方を提供することを目指したい。

7.6 提案システムに対する保護者へのインタビュー結果

保護者は提案システムに関する質問に、5段階で回答した (表 4)。Q1～Q3 はCG キャラクタのマニュアル操作手法が適切であったかを、Q4 は本システムにドールハウスの可能性を広げる効果を期待するかを確認する質問であった。子供2名のそれぞれの保護者として2度実験に参加した保護者の回答は、1回のみカウントした。Q1～Q3のスコアより、保護者は本システムの仕組みを理解し、ボタン式パネルを用いCG キャラクタを操作して、シナリオを展開可能であることが分かった。Q4の結果から、保護者は提案システムに、ドールハウス遊びを通じた学びを向上させる効果を期待していることが分かった。一方、3のスコアを回答した保護者は、その理由として「人形の感情表現については、CGで補わなくても自身で思い込める子供もおり、その場合には不要と感じる。一方で、自身で考えるのが難しい子供に対してのアシストとして有用なのではな

表 5 システムの適用可能性に関する保護者の自由回答 (複数回答可)

Table 5 Parents' free answers regarding the possibility of system deployment (multiple answers possible).

回答	回答人数/割合
教育への応用	4名/33%
ごっこ遊びでの保護者の負担軽減	3名/25%
シナリオの自動提供	2名/17%

いかと感じた」と回答した。

また、Q4の結果を受け、本システムに期待する適用先について自由コメントを収集した結果を表5に示す。「教育への応用」が最も多く、シナリオを工夫することで道徳的な学びを与えたり、食べ物や植物の小物を用いて、これに関連する知識を遊びの中で子供に与えることができるのではないかという意見を得た。続いて、「ごっこ遊びでの保護者の負担軽減」に関する意見が多く挙がった。子供と一緒にごっこ遊びをした経験がある保護者は、人形になりきってセリフを述べシナリオを展開することを負担に感じる、忙しい日々の中でごっこ遊びに介入してあげる時間がないなどの問題を抱えている場合があることが分かった。そのため、本システムにより人形になりきる負担が減り、子供の遊びに参加しやすくなるという意見があがった。また、料理をしながら遠隔で参加するなど、保護者の介入方法の拡張の可能性を示す意見があがった。さらに、インタビューの中で「実際に触れる遊びを残しつつ、CGに遊びを拡張する」という考えに共感する意見を得られた。その理由としては、「子供の年齢が上がるにつれ、デジタルゲームばかりになってしまわないかが不安」「現在、パソコンゲームばかりしているので、もう少し手先を使った遊びをしてほしい」という意見があがった。

7.7 提案システムに対する子供の感想

子供へのインタビューの結果、性別、年代問わず、全員が「遊びが楽しかった」と回答し、一部の子供からは「もっと遊びたい」「このおもちゃがほしい」という意見を得た。この結果から、提案システムによる遊びは子供に好意的に受け止められたと考えられる。また、楽しかった点について聞いたところ、「ごはんを食べてくれる」「表情が変わる」など、CG表現についての回答が得られた。この玩具を用いてやりたいことについて尋ねたところ、「外など、違う場所に行ってほしい」「画面のうさぎにもおしゃれをさせたい」など、仮想ドールハウスシナリオの拡張に関する意見と、「複数の人形を入れたい」「ねえねえ、と話しかけたい」など、システムの機能の拡張に関する意見が得られた。

7.8 実験結果まとめ

提案するドールハウスシステムについて、7.3節の結果から、子供が実世界と仮想世界をシームレスな空間として

認識し、ドールハウス遊びのシナリオを展開可能であることを確認した。また、7.4節の結果から、提案システムを用いて子供自身がシナリオに応じ、実世界と仮想世界を使い分け遊びを拡張可能であることを確認した。以上より、H1, H2の仮説が確認された。一方、遊びの様子を観察を通して、検出精度の向上、着替えなど人形に装着するパーツへの対応、実扉を子供自身が手で開けたときへの対応などの課題が発見された。

8. 実世界と仮想世界をつないだドールハウスの設計指針と考察

本章では、実験結果をもとに定義した設計指針と、これに関する考察を述べる。実世界と仮想世界をつないだドールハウスの設計指針を以下に記す。

- インタフェース設計指針
 - 扉の遮蔽により連続性を担保する
 - 実世界遊びを妨げない
 - 操作が容易である
- シナリオ設計指針
 - 原因・結果が起きる世界が実世界と仮想世界にまたがる
 - 働きかけを活用する
 - 位置関係を利用する
 - GetToyInを使用した世界の移動を活用する

8.1 インタフェース設計指針

提案システムでは、RFIDを用いて人形を識別し、人形と同形状のCGキャラクターを仮想世界に出現させることで、2つの世界における人形の同一性を表現した。これは、amiiboなど、フィギュア底部に設置されたタグをゲーム機が読み取り、画面にキャラクターを現す仕組みを搭載した製品の機能と類似している。しかしこれらの製品において、起動するゲームシナリオとフィギュアは独立しており、組み合わせる遊び手法は提案されていない。そこで本システムでは、GetToyInを用いることで、実世界と仮想世界を組み合わせる手法を提案した。これを実現するためのインタフェース設計指針は以下のとおりである。

扉の遮蔽により連続性を担保する

提案システムは、人形を箱に入れ、扉を開閉することで、人形が、実世界と仮想世界をシームレスに移動可能であるかのような表現を実現している。実人形とCGキャラクターの同一性を担保するため、任意のタイミングにおいて、人形は実世界と仮想世界どちらかにのみ存在する必要がある。GetToyInは、仮想世界にCGキャラクターが存在する間、扉を閉める行為により実人形を隠し、ユーザから見えない状態にする。扉は単に

人形を隠すだけでなく、出入口の意味を持ち、人形が実世界と仮想世界の間を移動する感覚を強化する役割も担っている。実世界から仮想世界への移動では、自動閉扉ではなく、ユーザ自身が扉を閉めることで、仮想世界へ「送り込む」感覚を強化している。仮想世界から実世界への移動では、先ほどは手で閉めた扉が今回は自動で開くことで、実際には動かない実人形が扉を押し開けたかのような錯覚を与えている。

さらに、2つの世界の境界で、実人形がCGキャラクターに変化するタイミングにおける違和感を与えないために、扉により隠された後、人形が実世界にも仮想世界にも存在しない時間（遮蔽時間）を取り入れている。これにより、遮蔽時間の前後の事象から、人形が動き出す様子をユーザに想像させる。5章の結果から、ユーザは前後のCGキャラクターの動きに応じて遮蔽時間中の人形の動きを想像可能であることが分かった。遮蔽時間は実験結果に示すとおり、CGキャラクターの移動速度に応じて設定することが可能である。

以上の性質を備えた箱型装置GetToyInについて、7章に示した実験結果から、子供がこれを用いて、人形を実世界と仮想世界の間でシームレスに移動させることを確認した。

実世界遊びを妨げない

提案システムは、仮想世界に現すCGキャラクターを決定するための識別機能を、実世界ドールハウス遊びに使用する人形や小物に付与している。このとき、小型のRFIDを用いることで、人形や小物は、実世界遊びに使用可能な形状を保持している。実験を通し、子供が仮想ドールハウスを用いた遊びだけでなく、従来のドールハウス遊びも引き続き楽しむ様子が確認された。今回は、人形や小物の底面に小型タグを貼付したが、将来的にはタグを内部に組み込むことで、より自然な形状にすることが可能である。

操作が容易である

ドールハウス遊びは低年齢の子供を対象としているため、システムは容易に使用可能であることが重要である。実験を通して、子供が1度のレクチャーのみでGetToyInを操作し、自発的に様々な人形や小物を入れる様子が観察されたことから、本手法は子供にとって容易に操作可能であることが示されたといえる。これは、扉という子供にも馴染みのある機能が操作方法の明確化に貢献していると考えられる。さらに、扉を閉める行為が、人形を仮想世界に現すための入力と、人形の遮蔽という2つの役割を兼ねることで、操作がシンプルになっていることも一因と考えられる。

8.2 シナリオ設計指針

親子が行った遊びの分析を通して、実世界と仮想世界を

表 6 今回実装した、あるいは観察された遊び方の分類
Table 6 Classification of play methods implemented or observed.

シナリオ	原因→結果	働きかけ	位置関係の利用	世界の移動
(a) お腹が空いた CG キャラクタにあげる料理を作る	仮想世界→実世界	有	無	無
(b) 実世界で用意した料理を CG キャラクタが受け取り食べる	実世界→仮想世界	有	無	有
(c) 仮想世界で汚れた服を実世界の洗濯機で洗う	仮想世界→実世界	有	無	有
(d) 実世界で洗った服が仮想世界で綺麗に輝く	実世界→仮想世界	有	無	有
(e) 実世界からプレゼントを渡された CG キャラクタが喜ぶ	実世界→仮想世界	有	無	有
(f) じょうろの小物を CG キャラクタに渡し、水やりをさせる	実世界→仮想世界	有	無	有
(g) CG キャラクタに実世界のテレビを見せる	仮想世界→実世界	無	有	無
(h) ジャンプをしている CG キャラクタとともに実人形を動かす	仮想世界→実世界	無	有	無

組み合わせたドールハウス遊びにおいて、シナリオに取り入れるべき要素を定義した。遊び分析は、実験中の行動観察メモおよび撮影した動画の確認により行った。

原因・結果が起きる世界が実世界と仮想世界にまたがる
遊びのきっかけとなる事象（原因）と、そのゴールとなる事象（結果）が、実世界と仮想世界のどちらで行われるかを指す。従来のドールハウス遊びは原因、結果の双方が実世界で、デジタルのみの遊びは双方が仮想世界で行われる。GetToyIn は実世界と仮想世界をつなぎ、原因と結果が2つの世界にまたがる遊びを実現する。

働きかけを活用する
原因となる行動が、反応を求める働きかけを行うかを指す。たとえばCG キャラクタが空腹の動作をしている場合は、食べ物ほしいという要求が明確なため「働きかけあり」と分類する。CG キャラクタが座っている場合は、これに対しテレビを見せるなどの行動を起こしてもよいし、何も行動を起こさなくてもよい。この場合を「働きかけなし」と分類する。

位置関係を利用する
実世界の人形や小物とCG キャラクタの位置関係を利用するかを指す。CG キャラクタに実物体のテレビを見せる場合、これらが向かい合う必要があるので「位置関係の利用あり」と分類する。

GetToyIn を使用した世界の移動を活用する
GetToyIn を使用して、人形または小物が実世界と仮想世界の間を移動するかを指す。

これらの要素を考慮することで、実世界と仮想世界を組み合わせたドールハウス遊びシナリオを構築することが可能になる。実験で観察された遊びの一部をこれらの要素で分類した結果を表 6 に示す。(a)~(d) はあらかじめ実装したシナリオ、(e)~(h) は子供が作ったシナリオである。これにより、子供が世界の移動などを利用し、実世界と仮想世界を組み合わせた遊びを創作していたことが確認された。

9. 今後の展望

9.1 GetToyIn の機能拡張

現在、GetToyIn や小型ディスプレイは有線で PC に接続されている。小型ディスプレイをタブレットに置き換え、無線通信機能を持つマイコンでセンサ値の管理を行うことで、これらを無線化し、設置場所の変更や持ち運びを容易にすることが可能である。市販のシルバニアファミリー製品には、複数の部屋を持つ家がある。各部屋にタブレットを取り付ける機構を組み込むことで、任意の部屋を仮想世界にする遊び方の実現が考えられる。また、本システムは人形を識別するため、各人形に性格やステータスを付与することが可能である。CG キャラクタごとに行動の傾向を変える、遊び方に応じて能力を上げていくなどの機能により、ドールハウス遊びを継続的に楽しめる仕組みを検討したい。

さらに、箱型装置の開き方にも応用展開が考えられる。人形を仮想世界から実世界へ移動させる際、一部の子供は、自分の手で実扉を開けてしまった。これは、遊びの中で、呼び鈴スイッチを押してから扉が自動で開くまでの時間を待ちたくなかったためと考えられる。CG キャラクタが仮想世界から実世界へ移動するトリガーについては、「子供が取り出したいと考えた」と「CG キャラクタの意思」の2種類のケースがあったことから、自動開扉は「CG キャラクタの意思」で移動した場合に適用し、「子供が取り出したいと考えた」際の操作方法の追加を検討したい。

9.2 遊び対象者の拡張

保護者へのアンケートの結果、市販のドールハウスは3歳~5歳頃の女兒に最も多く使用されており、男児は遊ぶ経験が少ない傾向にあること、女兒も年齢が上がるにつれ飽きてしまい遊ぶ機会が減る傾向にあることが分かった。提案システムにより、性別にかかわらずすべての子供がドールハウスに興味を示すことが確認されたため、今後、遊びの効用をより多くの子供に広めることを目指してコンテンツを設計していくことは有用だと考えられる。また、仮想

ドールハウスをネットワークに接続することで、飽きを防止し、継続的なドールハウスの使用を促進するコンテンツの配信が可能になる。コンテンツについては、保護者アンケートの結果から、遊びのシナリオの配信だけでなく、人形や小物を用いた学習コンテンツの配信も有効だと考えられる。ドールハウスという遊び慣れた玩具を拡張することにより学習への障壁を低くする効果が期待される。

9.3 CG キャラクタ操作

本論文では、ボタン式パネルを用いてユーザがCG キャラクタを操作するマニュアル操作を実装した。この入力手法をアプリとしてインストールすることで、任意のデバイスからCG キャラクタを操作する手法が実現可能である。たとえば、リビングでドールハウス遊びを行っている子供に、キッチンにいる保護者が、遠隔でスマートフォンからイベントを送る使用方法が考えられる。将来的には、システムからイベントを送り、CG キャラクタを動作させるオート動作の実現を検討したい。たとえば、仮想ドールハウスをネットワークに接続し、コンテンツの配信を行うことで、時間や季節に応じた、バリエーション豊かな動作の実現が可能である。CG キャラクタ動作の自動化により、子供の1人遊びのバリエーションを増やす効果が期待される。さらに、人形や小物、ドールハウスにセンサを組み込み、実世界での遊びを検出することによって、CG キャラクタを動作させる手法も考えられる。本手法により、実世界と仮想世界の連携の強化や、実世界遊び時間の増加の効果が期待される。

10. まとめ

本研究では、実世界と仮想世界をシームレスにつなぐ箱型装置 GetToyIn を使い、2つの世界を組み合わせた一体型ドールハウスを構築した。事前実験により最適なCG キャラクタの移動速度と遮蔽時間を設定し、親子を対象とした実験を通して、子供が実世界と仮想世界をシームレスな空間としてとらえ、ドールハウス遊びを展開可能であることを確認した。また、実験結果を元に実世界と仮想世界をつないだドールハウスの設計指針を作成した。

今後は、ドールハウスへの組み込みの容易化やCG キャラクタ動作イベントの自動化などの機能拡張を行いたい。また、長期的な観察を通して従来の遊びと比較することで、ドールハウス遊びにおいて実世界と仮想世界をつなげることの効果を検証する実験を実施したい。さらに、CG コンテンツの充実を図ることで、教育への応用などより拡張したシステムの提供を目指したい。

謝辞 本システムを検証するにあたり協力いただいた実験参加者に感謝する。本研究の一部は日揮・実吉奨学会の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] Antoni Joan, M. and Miralles, D.: Tangible Interface for Controlling Toys-To-Life Characters Emotions, *Proc. CHI EA '16*, pp.2387-2394, ACM (2016).
- [2] Avrahami, D., Wobbrock, J.O. and Izadi, S.: Portico: tangible interaction on and around a tablet, *Proc. UIST '11*, pp.347-356, ACM (2011).
- [3] Bergen, D.: The Role of Pretend Play in Children's Cognitive Development, *Early Childhood Research & Practice*, Vol.4, No.1 (2002).
- [4] Ekman, P.: An argument for basic emotions, *Cognition and Emotion*, Vol.6, pp.169-200 (1992).
- [5] Freed, N., Burleson, W., Raffle, H., Ballagas, R. and Newman, N.: User interfaces for tangible characters: can children connect remotely through toy perspectives?, *Proc. IDC '10*, pp.69-78, ACM (2010).
- [6] Grigore, E.C., Pereira, A., Yang, J.J., Zhou, I., Wang, D. and Scassellati, B.: Comparing Ways to Trigger Migration Between a Robot and a Virtually Embodied Character, *Proc. ICSR '16*, pp.839-849, Springer (2016).
- [7] Hinske, S., Langheinrich, M. and Lampe, M.: Towards guidelines for designing augmented toy environments, *Proc. DIS '08*, pp.78-87, ACM (2008).
- [8] Nakagaki, K., Tappa, J.L., Zheng, Y., Forman, J., Leong, J., Koenig, S. and Ishii, H.: (Dis)Appearables: A Concept and Method for Actuated Tangible UIs to Appear and Disappear based on Stages, *Proc. CHI '22*, pp.1-13, ACM (2022).
- [9] Ozaki, H., Matoba, Y. and Sii, I.: Can I GetToyIn?: A Box Interface Connecting Real and Virtual Worlds, *Proc. CHI EA '18*, pp.1-4, ACM (2018).
- [10] Rekimoto, J. and Saitoh, M.: Augmented surfaces: A spatially continuous work space for hybrid computing environments, *Proc. CHI '99*, pp.378-385, ACM (1999).
- [11] Robert, D. and Breazeal, C.: Blended reality characters, *Proc. HRI '12*, pp.359-366, ACM (2012).
- [12] Sii, I. and Mima, Y.: IconStickers: Converting Computer Icons into Real Paper Icons, *Proc. HCI International '99*, Vol.1, pp.271-275 (1999).
- [13] Sugaya, M., Osawa, H., Okada, Y. and Giannopulu, I.: Feel as Agent: Immersive Digital Dollhouse Enhances Sociality of Children with Developmental Disorders, *Proc. HAI '15*, pp.127-134, ACM (2015).
- [14] Sugiura, Y., Lee, C., Ogata, M., Withana, A., Makino, Y., Sakamoto, D., Inami, M. and Igarashi, T.: PINOKY: a ring that animates your plush toys, *Proc. CHI '12*, pp.725-734, ACM (2012).
- [15] Tseng, T., Murai, Y., Freed, N., Gelosi, D., Ta, T.D. and Kawahara, Y.: PlushPal: Storytelling with Interactive Plush Toys and Machine Learning, *Proc. IDC '21*, pp.236-245, ACM (2021).
- [16] Tyni, H., Kultima, A. and Mäyrä, F.: Dimensions of Hybrid in Playful Products, *Proc. AcademicMindTrek '13*, pp.237-244, ACM (2013).
- [17] 伊藤田旭彦, 木村秀敬, 武井 悟, 垣内祥史, 杜 暁冬, 藤井宗太郎, 益田義浩, 柁野大輔, 宮田一乗: 加速度センサとのれん状スクリーンを用いたピッチングVR アプリケーション, 芸術科学会論文誌, Vol.5, No.2, pp.33-44 (2006).
- [18] 尾崎保乃花, 椎尾一郎: コンピュータ強化されたドールハウスの提案と開発, 情報処理学会第79回全国大会講演論文集, Vol.2017, No.1, pp.259-260 (2017).
- [19] 木村美奈子, 加藤義信: 幼児のビデオ映像理解の発達: 子どもは映像の表象性をどのように認識するか?, 発達心理学研究, Vol.17, No.2, pp.126-137 (2006).



尾崎 保乃花

2016年お茶の水女子大学理学部情報科学科卒業。2018年同大学大学院人間文化創成科学研究科博士前期課程修了。同年ソニー株式会社に入社。2023年よりお茶の水女子大学大学院博士後期課程在籍中。ヒューマンコンピュータ

インタラクションに関する研究に従事。



椎尾 一郎

1979年名古屋大学理学部物理学科卒業。1984年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了。同年日本アイ・ビー・エム株式会社東京基礎研究所研究員。1997年玉川大学工学部助教授をへて2002年教授。2001年

ジョージア工科大学客員研究員。2005年お茶の水女子大学理学部情報科学科教授。2022年同大学名誉教授。工学博士。本会フェロー。



的場 やすし

1987年信州大学理学部生物学科卒業。同年(株)本田技術研究所。2010年ものつくり大学ものつくり学研究科修士課程修了。2019年電気通信大学大学院情報メディアシステム学専攻博士後期課程単位取得済退学。ものつくり大

学客員教授。お茶の水女子大学学部教育研究協力員。



五十嵐 悠紀 (正会員)

2010年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。博士(工学)。日本学術振興会特別研究員DC2, PD, RPDを経て2015年より明治大学総合数理学部専任講師。2018年より同大学専任准教授。2022年よりお茶の水女子大

学理学部准教授。ヒューマンコンピュータインタラクションに関する研究に従事。