



三代目 MR ピタゴラ兄妹 with RV-XoverKit ～エデュテインメント作品制作に適したツールの利用例～

福田 裕美¹⁾, 敷島 歩²⁾, 石田 隼也²⁾, 木村 朝子¹⁾, 田村 秀行³⁾, 柴田 史久¹⁾

1) 立命館大学 情報理工学部 2) 同 大学院情報理工学研究科 3) 同 総合科学技術研究機構
(〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

概要: 複合現実感 (MR) の導入により, エデュテインメント作品を独創性に富んだものとするのが期待できる. 筆者らは, 現実空間・仮想空間の相互遷移や両空間でトリガをかけ合う機能を実現するツールキット RV-XoverKit の提供により, 作品制作者の創造力を発揮しやすくすることを目指している. その利用事例として, 現実空間と仮想空間を往き来する体験型デモ作品を制作したので, その動作の模様を技術展示する.

キーワード: 複合現実感, エデュテインメント, ツールキット, 複合現実遷移

1. はじめに

電子的な情報のみで構築された仮想空間を体験する狭義の「人工現実感」(Virtual Reality; VR) に対して, 現実世界と仮想世界を融合する複合現実感 (Mixed Reality; MR) 技術は, 情報提示技術として大きな可能性を秘めている. 仮想空間の実時間描画力が向上し, 高精細な CG 画像を現実世界に重畳表示できることが, 体験型アトラクションでの MR 技術の利用価値を高めている.

実時間対話型のエンターテインメントと言えば, 誰もが思い浮かぶのがビデオゲームだろう. 従来はゲーム端末上や TV モニタ内で表示されていたフル CG のゲームが, 背景を現実世界の光景とする AR/MR 機能を備えただけで, 新たな魅力を与えるものとなったことは記憶に新しい.

筆者等の研究グループは, MR 空間との新しい対話手法, 対話デバイスを導入した MR アトラクションを開発し, 各種展示会や学術研究集会の技術展示に出展してきた. 例えば, 音イベント検出を利用した MR アトラクション[1], 視聴覚 3D-MR 空間での音の反射・遮断体験[2], 痛覚刺激を導入した MR 体験[3]等々である. なかんずく, 国際会議参加の体験者から最も高い評価を得たのは, 「ドミノ倒し」を MR アトラクション化した「DOMINO Toppling」[4]であった. この DOMINO Toppling の成功要因は, 物理的な制約のない仮想空間でのドミノ倒しの挙動が魅力的であったこと, 実物ドミノと仮想ドミノの切り替わりが自然であったことが指摘されている[5].

後者の要因, 現実(R)空間と仮想(V)空間の境界部で, 運動物体が違和感なく遷移して行く現象を具現化している事例は殆どなかった. 仮想空間での動的な現象を描画し,

これを現実世界に重畳表示することと, RV 空間の境界で運動状態を継続させることは全く問題が異なる. 後者を達成するには, しかるべきセンサやアクチュエータを必要とし, 違和感のない「複合現実遷移」を演出する工夫を必要とするからである.

我々は, この「複合現実遷移」の発展的形態を考え, それを達成するツールキット RV-XoverKit の開発を進めている. 本稿は, この Kit を利用した MR アトラクションの開発事例, 技術展示内容の紹介である.

2. RV-XoverKit とその部分集合

DOMINO Toppling では, 実物ドミノと仮想ドミノのシームレスな遷移を達成していたが, 実物ドミノの物理的挙動を正確にセンシングし, V 空間に伝達していた訳ではない. 単に実物ドミノが倒れたという記号的情報を検出・伝達していたに過ぎない. 逆も同様で, 仮想ドミノの倒れに同期して, 対応する実物ドミノを倒していたに過ぎない.

本研究では, 現実空間で実在する物体の動的現象を何らかのセンサで計測し仮想空間での動的現象に繋げること, およびその逆の動作を総称して「R-V 越境転移」(R-V Crossover Rendition)と呼ぶ. RV-XoverKit (クロスオーバーキットと読む)とは, それを実現するツールキットの総称である[6].

「R-V 越境転移」の内, 両空間の間で, 対象物体の形状や力学的状態がそのまま引き継がれたように見える「相似形移動」を「R-V 遷移」(R-V Transition)と呼び, 既にそれを実現する RV-TransitionKit Ver.1 を開発し, 報告している[7]. 「R-V 越境転移」は「R-V 遷移」の上位概念であり, 「R-V 遷移」の補集合を「R-V 情報伝達」(R-V Message

Transmission) と呼ぶことにした。即ち、対象物体の動的現象を、非線形変換、幾何学的変形、記号化、数値化などして得られる結果を、もう片方の空間に情報伝達する「非相似形遷移」の諸形態である。これを実現するツールキットを RV-MessengerKit と命名している。

「R-V 遷移」も「R-V 情報伝達」も「R-V 越境転移」の部分集合であるので、ツールキットにもその包含関係が成り立ち、概念的には

RV-XoverKit = RV-TransitionKit + RV-MessengerKit
である。実際は、後の 2 つの Kit は、ソフトウェアモジュール、ハードウェアユニットの実装形態により、随時バージョンアップして行くことになる。

小型計算機 Arduino を利用した RV-TransitionKit Ver.1, LEGO 社のマインドストーム®を利用した RV-MessengerKit Ver.1 の具体的内容は、それぞれ文献[7][6]を参照されたい。

以下では、文献[7]に倣い、R 空間から V 空間への情報伝達は「RtoV」と表記し、V 空間から R 空間への情報伝達は「VtoR」と表記する。具体的に、どのような伝達情報を用いるのかを示す際には、「RtoV 傾倒」という形で表記する。また R 空間・V 空間の両方を含むか、特に方向性がなく、両空間を総称する場合は「RV」と表記する。

3. 連鎖的動作現象の MR 化

ドミノ倒しは「連鎖的動作現象」の代表例であり、NHK E テレの教育番組『ピタゴラスイッチ』で「ピタゴラ装置」と呼ばれている作品は、様々な道具や部品を利用するもう少し複雑な実現例ある。海外で Rube Goldberg Machine と呼ばれているものもこの範疇に入る。

RV-XoverKit で実現するこの種の MR 作品を、我々は「MR ピタゴラ」と総称している。今回技術展示する「三代目 MR ピタゴラ兄妹 with RV-XoverKit」は、「MR ピタゴラ」の 3 作目であり、RV-XoverKit を積極的に利用していることからこの名称がつけられた。

NHK の「ピタゴラ装置」はすべて現実世界で稼働するのに対して、本作品では動きの連鎖が進む途中で R 空間から V 空間へ移行したり、V 空間から R 空間へ戻ったりという RV 情報伝達をふんだんに取り入れている。

4. 展示作品の紹介

R 空間における 1 つの球からスタートして、途中、別の球が増えたりドミノなどの違うものへ置き換わったりしつつ、計 8 回にわたって R 空間と V 空間の間を行き来しながらゴールを目指す。

体験者は、ZED Mini というステレオカメラを取り付けたヘッドマウントディスプレイ HTC VIVE Pro (図 1) を装着し、外部から見ると完成していないが、実際には仮想空間も経由して一つの道となった MR 版ピタゴラスイッチを体験する (図 2)。

RV-TransitionKit Ver.1 と RV-MessengerKit Ver.1 の両

方を利用しているが、シナリオ上、後者の利用率が高いので、ビー玉など代替品が存在しないものを除き、対象物の大半を LEGO®ブロックで制作している。

連鎖的動作現象の具体的な流れは、下記の(1)～(16)のように記述できる。図 3 は展示におけるピタゴラスイッチの進み方を図示したものであり、図中の番号は以下の項目に対応している。

- (1) 仮想の球がレールを転がり現実のビー玉までくると、ソレノイドによって仮想の球の速度が現実のビー玉に反映され現実のビー玉が転がり出す (VtoR 押圧)
- (2) 現実の LEGO®ブロックでできたレールを転がり落ちたビー玉がトランポリンを 2 つ跳ね 3 つ目のコップの中に入る



図 1 ZED mini を付けた HTC VIVE Pro

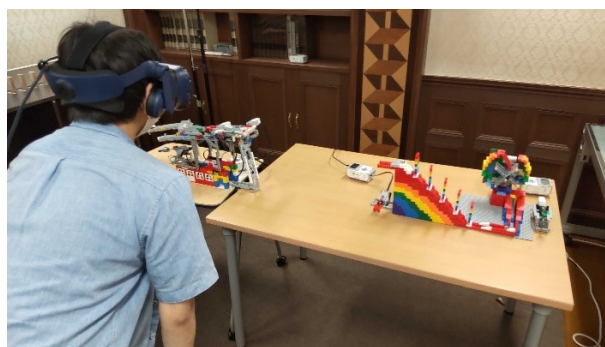
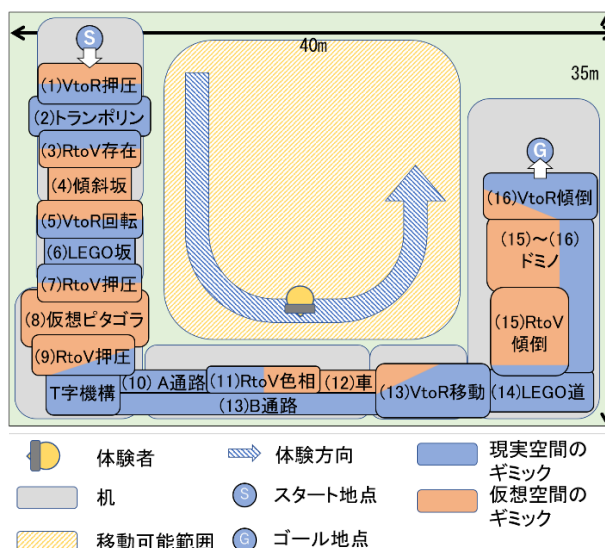


図 2 体験の様子的一部分



- (3) コップのくりぬかれた底の下に設置された超音波センサの前をビー玉が通るとセンサが反応, 仮想空間へ情報を伝達する (RtoV 存在位置)
- (4) 情報が伝達されたことで仮想のギミックが作動し, 仮想空間内を仮想の球が転がって回転扉へ向かう
- (5) 仮想の球が現実の回転扉に近づくと, モータが回転して扉が開き現実のビー玉が壁に開いた穴から現実のレールへ転がっていく (VtoR 回転角)
- (6) 現実のビー玉がレールの最後にある現実の坂の斜面に置かれた LEGO®ブロックで作成されたドミノを押すとドミノが倒れ, 最後のドミノが鉄球を押す
- (7) 鉄球が落下しタッチセンサに触れると仮想の鉄球へ変わり, 仮想の鉄球が仮想の LEGO®ブロックで作成されたシーソーの籠へ落ちると仮想のシーソーの反対側が跳ね上がる (RtoV 押圧)
- (8) 仮想のシーソーに押された仮想の球が物理シミュレーションを使用する仮想のピタゴラ装置を経由して転がり, 現実のビー玉をせき止めているバーを動かすスイッチへ落ちる
- (9) 押されたスイッチによってモータが作動し現実のバーが降りて現実のビー玉が流れだす (VtoR 押圧)
- (10) T字機構という, ビー玉を交互に2つの道へ仕分ける機構を経て, 手前の通路へ来たビー玉が落ちる度に円板を回す
- (11) 円板が回るとカラーセンサ前に赤→赤→赤→青の順に色が提示され青で仮想の車が発進する (RtoV 色相)
- (12) 発進した仮想の車がもう一方のビー玉をせき止めている現実のゲートの下を通り仮想の支えを巻き込む
- (13) 支えを失った現実のゲートが下に落ちて現実のビー玉が転がり始める (VtoR 移動距離)
- (14) 4つあった現実のビー玉の内の3つが途中にある穴に落ちて道になり, 最後の1つがレールの最後にある現実のドミノを倒す
- (15) 現実のドミノが倒れてタッチセンサに当たり, 仮想の LEGO®ブロックで作成されたドミノへ伝達され仮想のドミノが倒れる (RtoV 傾倒)
- (16) 仮想の LEGO®ブロックで作成されたドミノが全て倒れると, モータが回転し, 押された現実の LEGO®ブロックで作成されたドミノが倒れ始め (VtoR 傾倒), ゴールへとつながる。

5. R-V 情報伝達の利用事例

この章では作品内で使用されている R-V 情報伝達の内の4例を紹介する。具体的には VtoR 回転角, RtoV 押圧, RtoV 傾倒, VtoR 傾倒の4例である。ここで示す例は正しく伝達項目が伝達されているかを示すため, 理解しやすい利用例を選び載せている。

5.1 VtoR 回転角

- ・使用アクチュエータ：モータ
- ・現実の運動物体：扉が回転したことで転がり落ちる球体

(ビー玉)

- ・仮想の運動物体：傾斜した溝を転がる球体
- ・使用箇所：回転扉
- ・伝達前後の現象：回転 (VtoR 回転角) のモータを使用し, モータを現実の回転扉の裏側へ配置している (図 4(a)). 仮想の球がレールを転がり現実の回転扉に近づく (図 4(b)) と, モータが回転し, 回転扉が動き現実のビー玉が壁に開いた穴へ転がり落ちる (図 4(c))

5.2 RtoV 押圧

- ・使用センサ：タッチセンサ
- ・現実の運動物体：LEGO®ブロックで作成されたドミノによって押され溝を通り転がり落ちる球体 (鉄球)
- ・仮想の運動物体：球体が籠部分に入ったことで傾く LEGO®ブロックで作成されたシーソー
- ・使用箇所：シーソー
- ・伝達前後の現象：押圧 (RtoV 押圧) のタッチセンサを使用し, 現実の鉄球が落ちて当たるよう図 5(a)の位置に配置している。現実のドミノが現実の坂を駆け上がりつつ倒れ, 押された現実の鉄球が落ちタッチセンサに触れる (図 5(b)) と, 状態が変化し仮想のシーソーへ伝達され, 仮想のシーソーの片側が跳ね上がる (図 5(c))

5.3 RtoV 傾倒

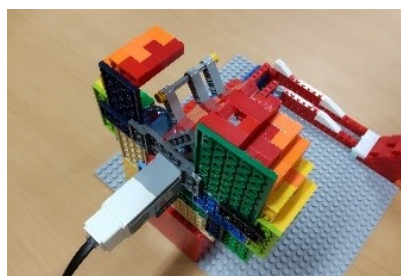
- ・使用センサ：タッチセンサ
- ・現実の運動物体：LEGO®ブロックで作成されたドミノと坂を転がり落ちドミノにぶつかる球体 (ビー玉)
- ・仮想の運動物体：LEGO®ブロックで作成されたドミノ
- ・使用箇所：ドミノ
- ・伝達前後の現象：傾倒 (RtoV 傾倒) のタッチセンサを使用し, 現実のドミノが倒れると当たるよう図 6(a)の位置へ配置している。現実のドミノが現実のビー玉によって押されて倒れるとタッチセンサに当たり (図 6(b)), 状態が変化し仮想のドミノへ伝達され, 仮想のドミノが倒れる (図 6(c))

5.4 VtoR 傾倒

- ・使用アクチュエータ：モータ
- ・現実の運動物体：LEGO®ブロックで作成されたドミノ
- ・仮想の運動物体：LEGO®ブロックで作成されたドミノ
- ・使用箇所：ドミノ
- ・伝達前後の現象：傾倒 (VtoR 傾倒) のモータを使用し, 現実のドミノをモータが動くとき倒れるよう図 7(a)の位置に配置している。仮想のドミノが全て倒れる (図 7(b)) と, モータが回転し, 押された現実のドミノが倒れる (図 7(c)).

6. むすび

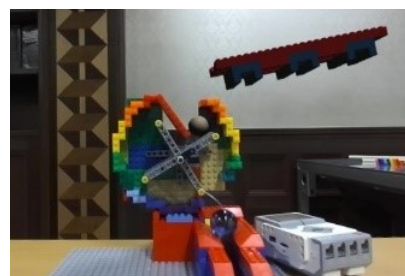
本稿では, MR 技術を取り入れた作品制作において, 現実空間と仮想空間の相互遷移や両空間でトリガをかけ合うような仕組みを提供する RV-XoverKit の一形態である RV-MessengerKit を使用したピタゴラススイッチ作品を紹介した。本作品で用いた RV-MessengerKit は, LEGO 社のマインドストーム®と付随するセンサ・アクチュエータ



(a) 現実のみ



(b) 仮想（橙部分）と現実



(c) 伝達後

図 4 VtoR 回転角の実行結果



(a) 現実のみ



(b) 仮想（橙部分）と現実

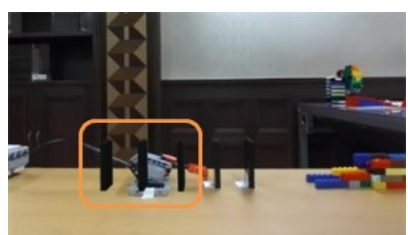


(c) 伝達後

図 5 RtoV 押圧の実行結果



(a) 現実のみ



(b) 仮想（橙部分）と現実



(c) 伝達後

図 6 RtoV 傾倒の実行結果



(a) 現実のみ



(b) 仮想（橙部分）と現実



(c) 伝達後

図 7 VtoR 傾倒の実行結果

を利用して開発されているため、製品を入手しプログラムをインストールすれば比較的容易に R-V 情報伝達を使用した作品制作を行うことが可能である。このようなツールキットが広がることで、作品制作者の創造力が発揮しやすくなり、エデュテインメント作品を独創性に富んだものを作ることができると考えている。

参考文献

- [1] 石黒, 他: Watch the Birdie!—視聴覚 MR と音イベント検出を利用した複合現実型アトラクション, 日本 VR 学会第 11 回大会論文集, pp. 281 - 284, 2006.
- [2] 村井, 他: Rhythm of the Rain in 3D —視聴覚 3D-MR 空間の表現力を体験できる複合現実型アトラクション—, 第 13 回日本 VR 学会大会論文集, pp. 560 - 563, 2008.
- [3] 片岡, 他: Hornet Attacks! —痛覚刺激を導入した複合現実感アトラクション—, 第 18 回日本 VR 学会大会論文集, pp. 592 - 593, 2013.
- [4] R. Hirata: DOMINO (Do Mixed-reality Non-stop) Toppling, Proc. 14th Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality, 2015..
- [5] 平田, 他: DOMINO Toppling: 実物体と仮想物体のシームレスな遷移を可能にした MR アトラクション, 日本 VR 学会論文誌, Vol. 21, No. 3, pp. 463 - 472, 2016.
- [6] 敷島, 他: RV-XoverKit: エデュテインメント分野での MR コンテンツ制作に適したツールキット, 第 26 回日本 VR 学会回大会論文集, 2021
- [7] 石田, 他: R-V 空間相互間で運動状態を伝達する複合現実遷移モジュールの開発, 日本 VR 学会複合現実感研究会, MR2020-13, Vol.23, No. 1, pp. 1 - 6, 2020.