



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

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

1) 立命館大学 大学院情報理工学研究科, 2) 同 情報理工学部, 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 : 先に MR コンテンツの表現力を増すために, 現実空間と仮想空間の相互間で移動物体の動きを伝達できる RV-TransitionKit を開発した. その発展形として, 創造的コンテンツ制作を支援する RV-XoverKit の概念とツール体系を整理し, 機能設計に着手した. その第 1 段階として, LEGO 社のマインドストーム[®]を活用した RV-MessengerKit Ver.1 を開発したので, その実装例を紹介する.

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

複合現実感 (Mixed Reality; MR) 技術への関心が急速に高まっている. 数年前からの VR ブームとともに, その発展形である AR/MR への注目度も増し, 低価格 HMD や開発ツールの供給も活発になった. 現実・仮想両空間の位置合わせ精度の向上, CG 描画力の進化により, 魅力的かつ実用性が高い利用事例も散見されるようになってきた. 現実世界に重畳表示される映像の画質が向上しただけでなく, 仮想世界との実時間対話も有効活用されている.

こうした状況下では, MR コンテンツの一層の表現力向上が期待されている. しかし, これまで現実(R)仮想(V)両空間にまたがる物体の動的遷移は殆ど試みられて来なかった. V 空間で動的に変化する現象を描き, それを運動物体のある R 空間の光景に重畳表示することはあっても, R-V 空間の境界を往き来する動物体の表現は稀であった.

筆者らの研究グループでは, これを「実物体と仮想物体のシームレスな遷移」や「複合現実遷移」と呼び, その技術体系の整備を目指してきた. その第 1 段階として取り組んだのは, 「ドミノ倒し」を題材とした MR アトラクション「DOMINO Toppling」の制作である[1][2]. この作品は技術展示で高い評価を得たので, 次に「複合現実遷移」の一般化・汎用化に着手し, その概念や用語を整理するとともに, MR コンテンツ設計者の利用に供するツールキット RV-TransitionKit を開発した[3].

上記の意味での「複合現実遷移」での対象は広く, 娯楽や展示分野に限らず, 都市計画, 医療, 製品の設計製造等の分野にも展開できる. その反面, RV-TransitionKit では R-V 境界で対象物体の動きが正確に伝達される現象のみを対象とし, 境界間で物体が変形したり, ON/OFF 等の記号化された情報伝達形態は排除していた.

次の研究ステップとして, 排除していた現象も扱えるよ

う「複合現実遷移」の概念を拡張する. その一方で, 対象をエデュテインメント分野に絞り, 創造的コンテンツ制作を支援するツールキットの設計・実装に取り組むことにした. 本稿では, その概要と実装事例を紹介する.

2. 概念の拡張とツール体系の整理

2.1 R-V 遷移から R-V 越境転移への拡張

「DOMINO Toppling」が体験者の高評価を得たのは, 実物ドミノと仮想ドミノの切り替わりがすぐには識別できないシームレスな遷移であり, V 空間側では物理的な制約のない仮想ドミノの振る舞いであった. V 空間でのコンテンツ設計の自由度は, 娯楽・教育分野にとっての大きな魅力であり, RV 境界の反復した移動も演出力を高める.

RV-TransitionKit が扱う R-V 遷移 (R-V Transition) は, 動物体の形状や表面属性, 力学的状態が RV 境界でそのまま引き継がれたように見える「相似形移動」である. その Ver.1 開発では, 表 1, 表 2 のように直進運動と回転運動に分けて, 具体的な実行モジュールを開発した. 概念や設計を単純化するために, 非相似形の転移現象を排除したが, MR コンテンツの表現力向上には, そうした現象も扱えるように概念もツールも拡張するのが望ましい.

RV 境界での動物体や動的現象の変形を伴うこの拡張を行ったものを R-V 越境転移 (R-V Crossover Rendition)

表 1 RtoV 遷移の伝達項目

| 直線運動 (並進運動) | | | 回転運動 | |
|-------------|-------|-----|------|-----|
| 速さ | 衝突の強さ | 移動量 | 回転角度 | 回転数 |

表 2 VtoR 遷移の伝達項目

| 直線運動 (並進運動) | | | 回転運動 | |
|-------------|----|------|---------|--------|
| 押圧 | 牽引 | 随伴移動 | 回転 (角度) | 回転 (数) |

と呼ぶことにした（既に「遷移」を使っていたので、混乱のないよう「転移」を採用した）。「R-V 越境転移」は「R-V 遷移」の上位集合であり、「R-V 遷移」の補集合を **R-V 情報伝達 (R-V Message Transmission)** と称することにした。対象物体の動的現象を非線形変換、幾何学的変形、記号化、数値化等々を行なって得た結果を、もう一方の空間に情報伝達することによって、境界を越える際に物体を変形させたり、別の動きを生み出すことになる。

この3つの概念を実行できるツールキットが、それぞれ **RV-XoverKit**, **RV-TransitionKit**, **RV-MessengerKit** であり、**RV-XoverKit** (クロスオーバーキットと読む) は、他の2つの集合体となる。既開発の **RV-TransitionKit** と同様、他の2つのKitも、センサ、アクチュエータ、制御用コンピュータから成る「ハードウェアユニット」と、それを操作する「ソフトウェアモジュール」で構成される。

2.2 対象分野の限定と実装形態の想定

包含関係と名称を定義しただけで、「R-V 越境転移」なる概念も **RV-MessengerKit** の対象も広過ぎるので、対象をエデュテインメント分野の「連鎖的動作現象」に絞って、具体性のある機能設計、実用性のある実装形態を想定する。

ドミノ倒しは「連鎖的動作現象」の代表例であり、もう少し複雑な例はNHK教育番組『ピタゴラスイッチ』の中で「ピタゴラ装置」と呼ばれている作品群である。海外で **Rube Goldberg Machine** と呼ばれている一連のからくり仕掛けもこの範疇に入る。**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。現実世界でのみ稼働する「ピタゴラ装置」が固定シナリオでの連鎖現象しか扱っていないのに対して、我々の「MRピタゴラ」では、「分岐シナリオ」「可変シナリオ」でのアトラクションを設計、体験することができる。

RV-TransitionKit Ver.1 では、小型計算機 **Arduino** の利用を想定したのと同様に、**RV-MessengerKit Ver.1** の機能設計と実装には、**LEGO** 社の **マインドストーム®** の利用を想定する。教育分野での利用実績多く、創造的コンテンツ制作に適した開発環境が整っているからである。

3. RV-MessengerKit の機能設計

3.1 情報伝達項目の選択と仕様決定

既に **RV-TransitionKit Ver.1** は報告済みなので、以下では **RV-MessengerKit** の機能設計方針とその **Ver.1** の実装例に関して述べる。

上述のように、本研究では対象を、連鎖的動作現象を体験できる「MRピタゴラ」に絞り、**LEGO** 社の **マインドストーム®** を用いた実装を想定して **RV-MessengerKit** の機能設計を行う。**マインドストーム®** の基本セットには数種類センサやアクチュエータが含まれていて、それらを組み合わせることでロボットや対話システムを作成することができ **LEGO®** ブロックと組み合わせることで利用できるよう、数多くの事例集が提供されている。

我々が取り組むのは、この **マインドストーム®** をベース

としつつ、**RV-越境転移**, **RV-情報伝達** を実現できるツールキットの開発である。**マインドストーム®** に付随のセンサやアクチュエータは、さほど高精度のものではないが、その種類や安定的に利用できる精度に応じた機能を **RV-TransitionKit** にもたせることになる。

RV 間の境界部での非相似的な「R-V 情報伝達」としては、対象物体の物理的状態（「倒れた」「移動した」「回転した」等）を検出し、それを伝達することで他方の空間に連鎖的な変化を生じさせるスイッチや引き金的な役割を担うことを中心に考えた。こうした考察の結果、**Ver.1** で実現させることになった機能を表3～表6に示す。

例えば、「傾倒」は **RtoV** では、物体が「倒れた／倒れていない」判定であり、**VtoR** では、(棒を介して) 物体を「倒す／倒さない」の動作の有無である。「押圧」もほぼ同様で、**RtoV** で「押された／押されていない」、**VtoR** で「押す／押さない」の2値状態の情報伝達となる。これは付属のタッチセンサが **ON/OFF** の2値状態しか検出できないという制約によるものである。

表3 RtoV 伝達項目の名称

| | 伝達項目名 |
|------------|-------|
| 実物体の状態検出 | 傾倒 |
| | 押圧 |
| | 存在位置 |
| | 移動距離 |
| 明るさや色情報の検出 | 回転角 |
| | 環境光 |
| | 色相 |

表4 RtoV 伝達項目の状態

| 伝達項目名 | センサ | 状態(値) |
|-------|--------|-----------------------|
| 傾倒 | タッチセンサ | Yes/No |
| 押圧 | | |
| 存在位置 | 超音波センサ | 0～3の4段階 |
| 移動距離 | | -2～+2の5段階 |
| 回転角 | モータ | 36段階 |
| 環境光 | カラーセンサ | 明暗4段階 |
| 色相 | | 黒, 青, 緑, 黄, 赤, 白, 茶・無 |

表5 VtoR 伝達項目の名称

| | 伝達項目名 |
|---------|-------|
| 運動の状態変化 | 傾倒 |
| | 押圧 |
| | 回転角 |
| | 移動距離 |

表6 VtoR 伝達項目の状態

| 伝達項目名 | アクチュエータ | 状態(値) |
|-------|---------|--------|
| 傾倒 | モータ | Yes/No |
| 押圧 | | |
| 回転角 | | 36段階 |
| 移動方向 | | 前/後/無 |

一方、超音波センサは、センサ位置から一直線上で3~252cmまでの位置にある物体をcm単位で検出できる。実際の計測精度を考慮して、「存在位置」は「物体が存在しない0」から「ゾーン1, 2, 3に存在する」の4段階を出力できる利用形態とした(図1)。また、「移動距離」は現在位置から「前後に-2, -1, 0, +1, +2の5段階の移動」を判定するものとした(図2)。

モータは本来アクチュエータだが、しかるべきアタッチメントで対象物体を固定できれば、回転角を計測することもできる(図3)。RtoV, VtoRのいずれも10°刻みの36段階の検出と回転動作ができるものとした。

カラーセンサも用意されていて、センサ周囲の環境光の明るさや観測する多少物体の色も計測できるので、表4のような仕様で、RtoVで情報伝達するものとした。

3.2 RV-MessengerKitの実装とコンテンツ開発

上記の仕様に従い、機能を発揮するためのマインドストーム®でのプログラミングには、標準のソフトウェアではなく、Javaでプログラムできるように別途公開しているファームウェアleJOSを使用することにした。

マインドストーム®には様々なパーツが用意されているので、表4, 表6で述べた伝達項目に対して、ハードウェア的な実現には複数の選択肢が有り得る。例えば、図4はRtoV情報伝達での押圧で使用するハードウェアユニットで、タイプAは本来のタッチセンサの押す方向ではなく、別の方向から押すことができるようにしたものである。タイプBはコンテンツ開発者が独自に作成したものに取り付けることを想定したものである。

図5はVtoRで回転角を伝達するユニットで、タイプAはロール、タイプBはピッチの回転方向に対応したものである。また、この種のユニットでは、使用するギアパーツを変更することで、ギアの回転比率を調節することができ

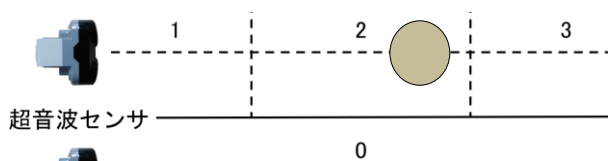


図1 存在位置の定義

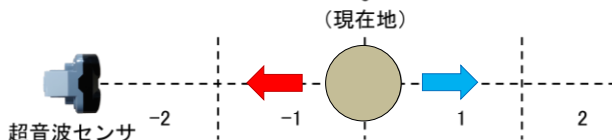
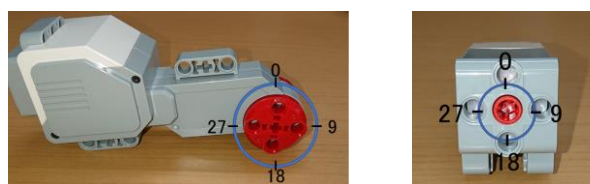


図2 移動距離の定義



(a) モータLの場合

(b) モータMの場合

図3 回転の定義

る。こうした複数のハードウェアユニットを準備しておくことで、コンテンツ開発者が状況に応じてハードウェアユニットを使い分けることができ、自らLEGO®ブロックを利用して拡張することも可能となっている。

また、こうした開発事例を紹介するだけでなく、ハードウェアユニットを利用しやすいように設計図を用意し、RV-MessengerKitの利用者に提供することとした。各設計図は、PC上でLEGO®ブロックを組み立てるフリーソフトウェアLEGO Digital Designerを使用して作成する。LEGO Digital Designerには、組み立て方を順序立てて見ることのできるBuilding guide modeが存在しているので、設計図通りの実現は容易である。

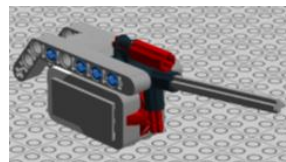
RV-XoverKit (RV-TransitionKit + RV-MessengerKit)を利用して、MRコンテンツは制作するには、Unityを利用して開発を推奨している。ソフトウェアモジュールはUnity上で動作するプログラムとして実装し、通信を介してハードウェアユニットから送られてくる情報をコンテンツ開発者に提示する。コンテンツ開発者は、マインドストーム®に書き込まれているプログラムを直接利用するのではなく、Unity上のソフトウェアモジュールのAPIを経由してRV-XoverKitを利用する形となる。

4. 利用事例

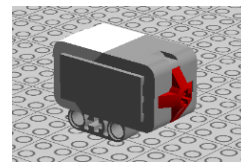
ここでは、RV-MessengerKitの利用例として、4つの事例(A)~(D)を示す。MRを実現するデバイスとしては、表示用のHMDとしてHTC VIVE Proを使用し、実空間撮像用のカメラとしては、VIVE Proのフロントカメラの代わりにSTEREO LABS社ZED miniを取り付けている。

(A) RtoV 押圧での利用事例(図6)

- ・ 現実空間の物体：左上に存在するビー玉
- ・ 仮想空間の物体：中央に存在する球
- ・ 伝達前後の現象：現実のビー玉がレゴブロックで作成された坂を転がり、坂の終点に取り付けているタッチセンサが押される。タッチセンサが押されると、その情報が現実から仮想に伝達され、仮想の球が動き出し、

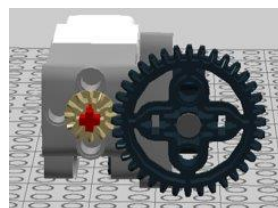


(a) タイプA

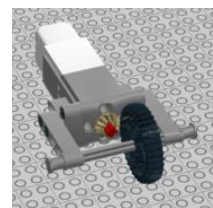


(b) タイプB

図4 RtoV情報伝達での押圧のハードウェアユニット



(a) タイプA



(b) タイプB

図5 VtoR情報伝達での回転のハードウェアユニット

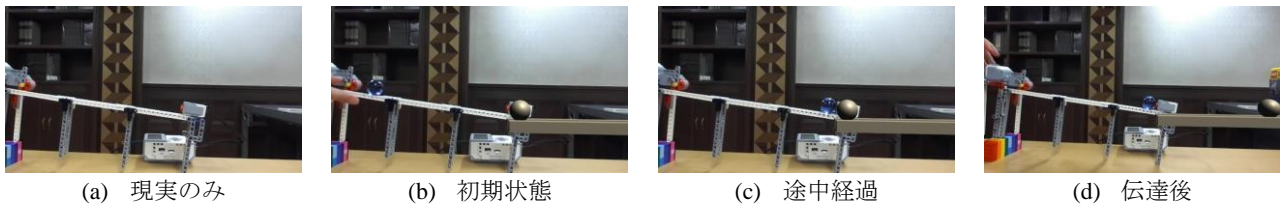


図 6 RtoV 押圧の利用事例

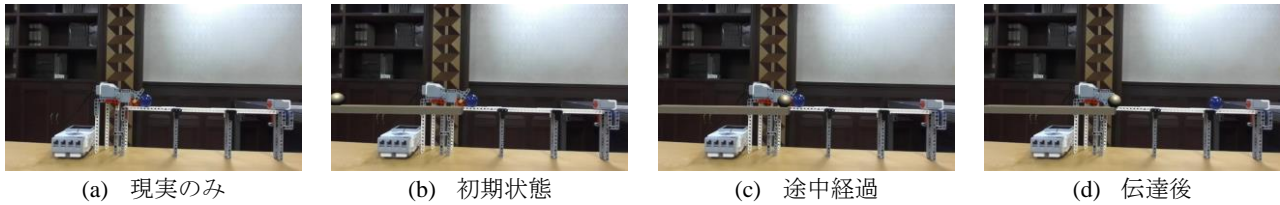


図 7 VoR 押圧の利用事例



図 8 RtoV 回転の利用事例

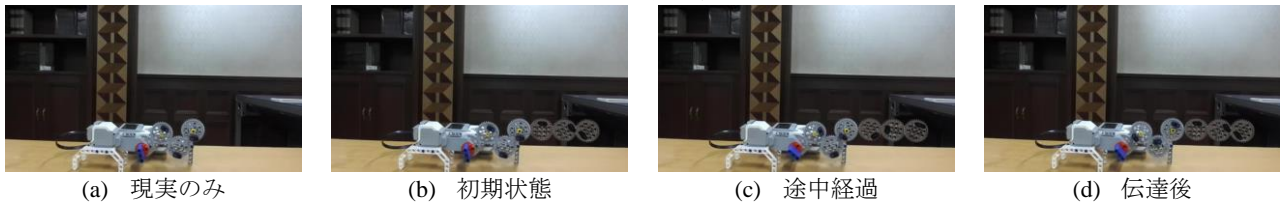


図 9 VtoR 回転の利用事例

現実のビー玉が仮想の球を弾き飛ばす。

(B) VtoR 押圧での利用事例 (図 7)

- ・ 現実空間の物体：中央に存在するビー玉
- ・ 仮想空間の物体：左に存在する球
- ・ 伝達前後の現象：レールの上を転がる仮想の球が現実のビー玉と触れると、その情報が仮想から現実に伝達され、モータが回転し現実のビー玉が弾き飛ばされる。

(C) RtoV 回転での利用事例 (図 8)

- ・ 現実空間の物体：左側に存在する 4 つのレゴの歯車
- ・ 仮想空間の物体：右側に存在する 3 つのレゴの歯車
- ・ 伝達前後の現象：現実の歯車を回転させるとその情報が現実から仮想に伝達され、仮想の歯車が回転する。現実の歯車と仮想の歯車がお互いにかみ合っているように見える。

(D) VtoR 回転での利用事例 (図 9)

- ・ 現実空間の物体：左側に存在する 4 つのレゴの歯車
- ・ 仮想空間の物体：右側に存在する 3 つのレゴの歯車
- ・ 伝達前後の現象：仮想の歯車を回転させるとその情報が仮想から現実に伝達され、現実の歯車が回転する。仮想の歯車と現実の歯車がお互いにかみ合っているように見える。

他の利用事例として福田らが作成した「三代目 MR ピタゴラ兄妹 with RV-XoverKit」[4]がある。これは、本研究で開発した RV-XoverKit を使用して、NHK 教育番組での

「ピタゴラ装置」を MR 化したものである。

5. むすび

本研究では、既に報告した現実空間と仮想空間の境界部での運動物体の動きを伝達する「R-V 遷移」を発展させ、「R-V 越境転移」なる新しい拡張概念を提案し、それを実現するツールキット RV-XoverKit の概念を整理した。

その一方で、魅力ある MR コンテンツの表現力、演出力を向上させるため、対象をエデュテインメントの分野に絞り、「R-V 情報伝達」を目的とした新しいツールキット RV-MessengerKit の設計と実装について述べ、利用時事例を紹介した。

参考文献

- [1] R. Hirata: DOMINO (Do Mixed-reality Non-stop) Toppling, Proc. 14th Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality, 2015..
- [2] 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.
- [3] 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
- [4] 福田, 他: 三代目 MR ピタゴラ兄妹 with RV-XoverKitへエデュテインメント作品制作に適したツールの利用例~, 日本 VR 学会第 26 回大会論文集, 2021