

IVRC2023

めい迷路ろ

## 1. はじめに

VRによる入れ子構造を用いて、自身の意識が二分される体験を提示する。

本企画では迷路を手を持って体験する。体験者は迷路板を傾けることで迷路内のボールを操作する、いわゆるボール迷路である。ただし、このとき体験者はHMDによって、ボールから見える迷路内の世界を見ている。つまり現実の自身が、迷路内に入り込んだ自身を傾けて操作する入れ子構造となっているのである。

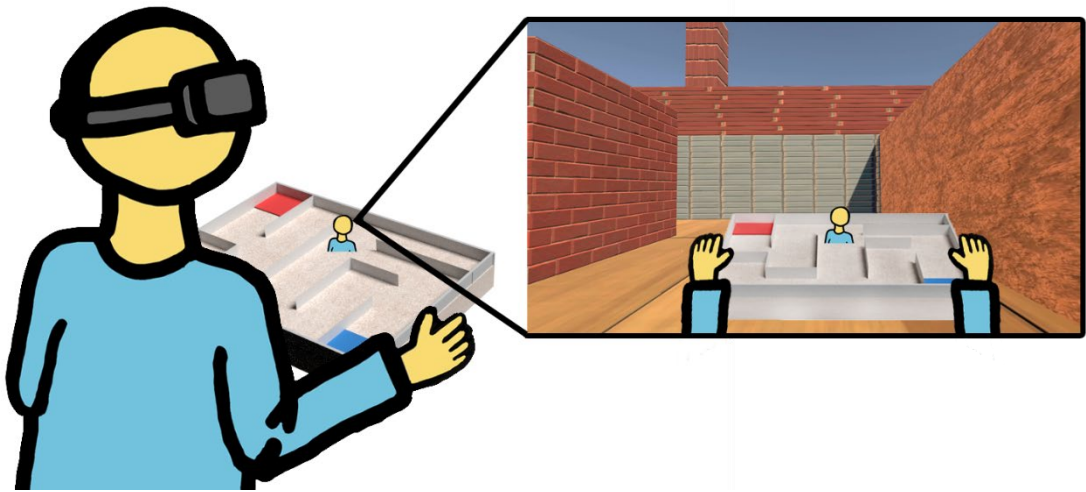


図 1 手にもつ迷路に自身が立つ

この入れ子構造により、現実で迷路を持っている上層の自分と、VR内で迷路に入り込んでいる下層の自分が生まれる。

体験者は迷路板を手に取り、VR内の迷路に入ることで、俯瞰的な意識と一人称的な意識の2つを感知する。俯瞰的な意識というのは、現実で迷路板を能動的に操作する上層の意識であり、一人称的な意識というのは迷路内で受動的に操作される下層の意識のことである。

上層と下層の意識についてより具体的に述べる。

上層の俯瞰的、能動的な意識は、迷路板を傾ける動作、迷路板から手に伝わる振動によって与える。迷路板を自身で傾ける動作は能動的な体験そのものである。また迷路板から手に伝わる振動とは、VR内で自身が壁にぶつかる、または段差を通過する際に提示する振動刺激である。この振動を手掛かりに、自身が傾けた物体が壁に衝突する様子を感じることで、より俯瞰的に迷路板を操作している感覚を得る。

下層の一人称的、受動的な意識は、VR内の迷路面の傾きによる視覚誘導と現実での足場の傾き、足元から伝わる衝撃によって与える。ここで「傾き」というのは、体験者が自発的に傾く行為ではなく、手元の迷路板を傾ける行為に従って、システムがVR内の迷路面および足元を傾ける仕組みである。迷路面の傾きによる視覚誘導は体験者に重心動揺を及ぼし、足元の傾斜がこれ

に伴うことで、平衡感覚への強力な刺激となる。また足元から伝わる衝撃は、VR 内で自身が壁にぶつかる、または段差を通過する際に提示する刺激であり、VR 内での一人称体験に一層の臨場感を与える。

これらが入れ子構造によって体験者が得る感覚である。

体験者には、手を傾げる命令を出す意識体と、平衡を保つ意識体が併存する。意識は 2 つ生じ、それらが入れ子構造によって分断されるが、あくまでどちらの意識も体験者の意識であり、両者は自身の 1 つの精神の中に存在する。本企画ではこのようにして、二分された意識を共に感知するという、新しい意識体験を提示する。

## 2. システム構成概要

本企画で用いるシステムの外観とフロアプランを図 2 と図 3 に示す。

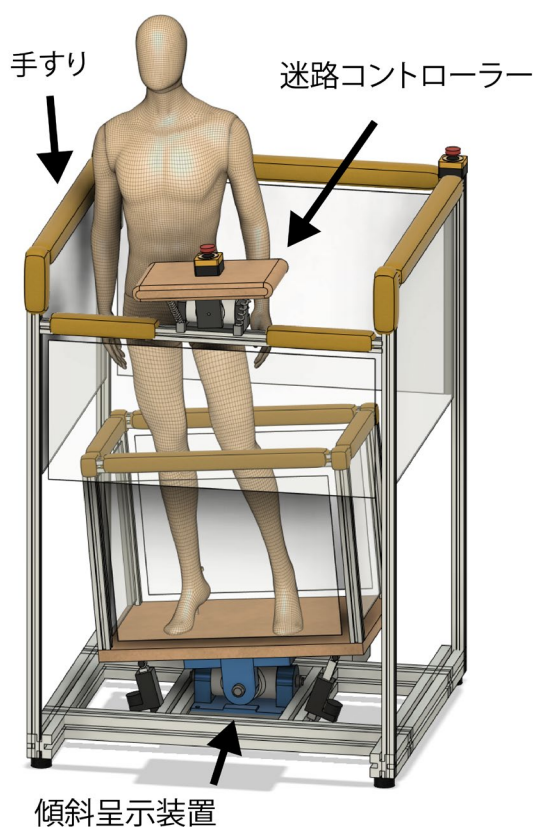


図 2 システムの外観

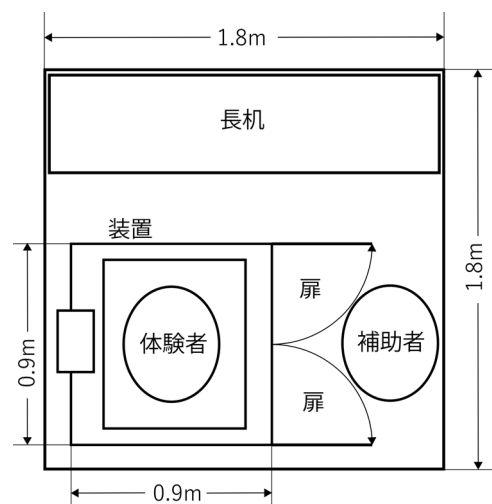


図 3 フロアプラン

表 1 にシステムで使用する各装置とその役割を示す。

表 1 装置概要

装置	役割
視聴覚提示装置	迷路内の自身の位置と傾斜提示
迷路コントローラー	自身が入っている迷路を傾斜させる指示装置
衝撃提示部（迷路コントローラー）	迷路内で自身が衝突した際の手元への感覚提示
傾斜提示装置	自身が入っている迷路の傾斜感を提示
衝撃提示部（傾斜提示装置）	迷路内で自身が衝突した際の足元への感覚提示

体験者が主に操作するデバイスは、視聴覚提示装置および迷路コントローラーである。視聴覚提示装置は迷路内の映像を表示する。迷路コントローラーを傾けることで傾斜提示装置および視聴覚提示装置が傾斜の提示を行う。壁にぶつかる衝撃の再現を、2つの衝撃提示部が担う。デバイスの詳細については4章デバイス詳細にて述べる。

### 3. 体験の流れ

#### 3.1. 体験の開始

体験者は傾斜提示装置に乗り、HMDを装着する。補助者は手すりの扉をロックする。その後、正面に位置する迷路コントローラーを両手で握ると体験開始となる。

#### 3.2. 体験内容

体験者が足元を見ると、自身は板に乗っている。眼前には迷路が広がり、続く道は複雑に入り組んでいる。握っていたはずの迷路コントローラーは気づけば迷路そのものになっている。ふと見ると中にも板に乗った自身が見える。手に持つ迷路を傾けると立っている地面が傾き、板に乗ったまま迷路中を滑り落ちていく。手元の迷路の中でも自身が同じように滑り落ちている。自身は「ここ」に存在しているが、手元の迷路の中にもいる。それとも「ここ」は手元の迷路の中なのだろうか？

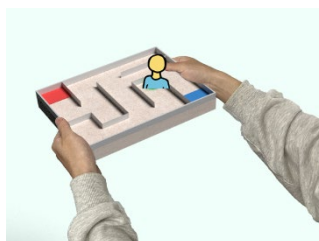


図 4 迷路コントローラーを傾ける様子

図 4 は体験者が VR 内で迷路コントローラーを傾ける様子である。これに従って HMD と傾

斜提示装置が傾斜提示を行う。図 5 と図 6 が各装置の傾斜提示の様子である。迷路コントローラーを左に傾けると、HMD の映像での迷路面と傾斜提示装置が左に傾斜する。これによって体験者は傾いている感覚を与えられる。ここで VR 内の迷路面は滑らかで、体験者の乗る板との間に摩擦が発生しない。そのため主観的な傾斜は感じないことが物理的に正しい。しかし本企画では理解のしやすさとコンテンツ的な面白さを優先し、傾斜提示装置を用いて体験者の足場を傾斜させる。

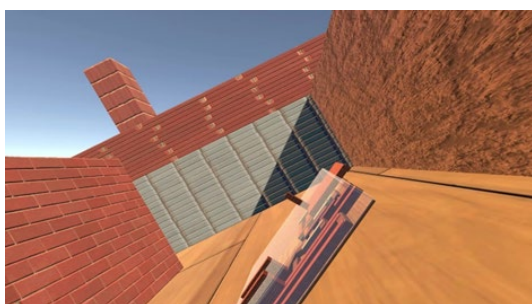


図 5 HMD 映像で迷路面が傾く様子



図 6 傾斜提示装置が傾く様子

このように自身が入った迷路を傾けて進む迷路だが、最中には様々な仕掛け、至難が潜んでいる。どんな場面でも、勢いをつけすぎれば曲がり角で衝突してしまう。バックしなければならぬ時もある。ときには穴にハマってチェックポイントまで引き戻されてしまうだろう。しかし注意深く観察すると、ぶつかることで道が現れるひびや、隠し通路を見つけられるかもしれない。また、迷路内には手元の迷路では内部が確認できないトンネルが存在する。そのような場所では顔を上げて周囲を見渡すことで状況を把握する。そのほかにも、少し傾けば落ちてしまうような細道や高く飛べるジャンプ台、波打つ形状によって足元を取られる道を潜り抜け、迷路の出口を目指す。

### 3.3. 体験の終了

体験者が迷路の出口に到達するとコンテンツが終了する。その後体験者は迷路コントローラーから手を放す。傾斜提示装置が停止したことを確認してから補助者は扉のロックを解除する。HMD を外し、体験者が傾斜提示装置を降りることで体験を終える。

## 4. デバイス詳細

システムの構成要素間の関係を図 7 に示す。PC は Unity で製作した迷路を動作させる。迷路コントローラーの傾斜角、傾斜提示装置の目標傾斜角、衝撃提示装置の方向、タイミングはマイコンを介して PC とやり取りされる。

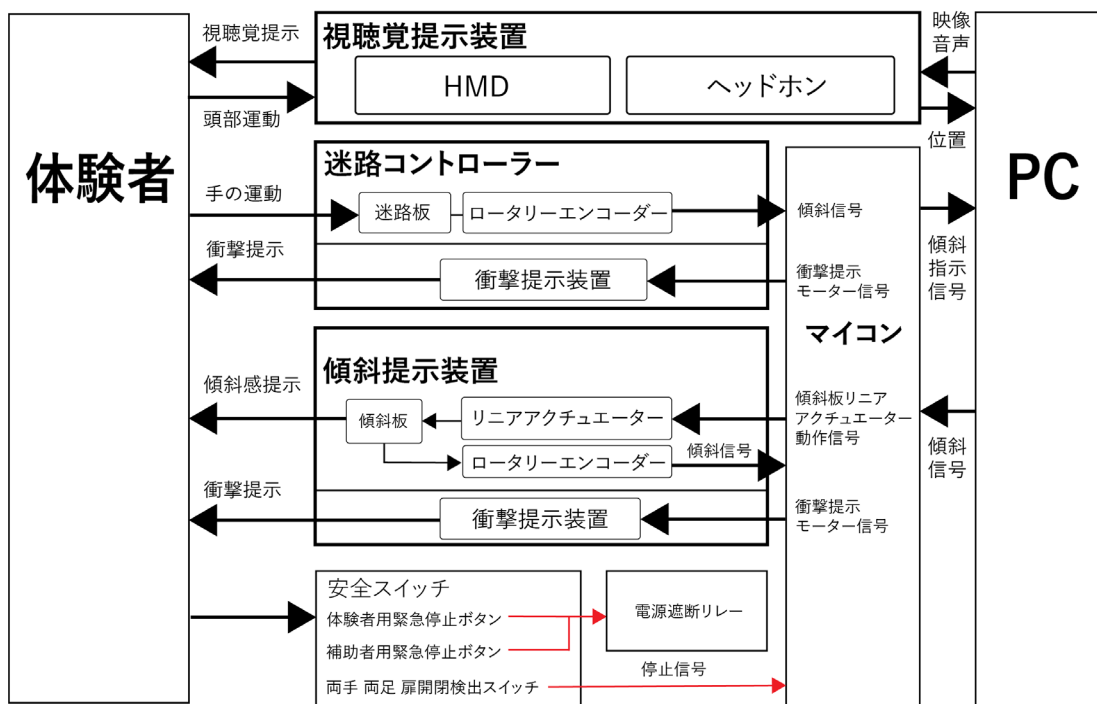


図 7 システム概要図

#### 4.1. 迷路コントローラー

迷路コントローラーは体験者が傾ける迷路である。自身が入った迷路が手元に存在している感覚を提示する事が目的である。そのため体験者が迷路の傾斜を指示できる機能と、迷路内で自身がぶつかる衝撃を感じられる機能をもつ。迷路コントローラーの外観を図 8 に示す。

体験者は手すりに設置される迷路コントローラーを、左右から両手で握って傾ける。迷路コントローラーの傾きは VR 内の迷路の傾きへ反映される。迷路コントローラーはばねにより水平を維持しようとする。傾斜角はロータリーエンコーダーによって測定される。

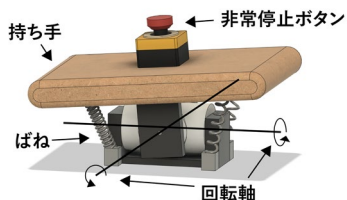


図 8 迷路コントローラーの外観

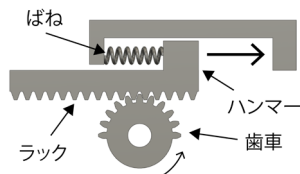


図 9 衝撃提示装置の機構

迷路内の自身が迷路の壁にぶつかると衝撃が発生する。手に持っている迷路に伝わる衝撃を衝撃提示機構で再現する。機構の原理を図 9 に示す。ばねはラックと歯車で圧縮し、歯車の歯がない部分にラックとの噛み合い部分に到達するとばねが解放される。この機構を 4 方向に設



置し、衝撃方向の提示を可能とする。

迷路コントローラーにより自身が迷路の中に入っているという感覚を客観的な視点から感じることができる。

## 4.2. 傾斜提示装置

傾斜提示装置は体験者を傾ける。迷路の中に入っている自身としての感覚を提示することが目的である。そのため体験者に迷路の床が傾斜している感覚を与える機能と、迷路内でぶつかった際の衝撃を与える機能をもつ。傾斜提示装置は VR 内の迷路面に合わせて傾く傾斜板を有する。傾斜提示装置を図 10 に示す。

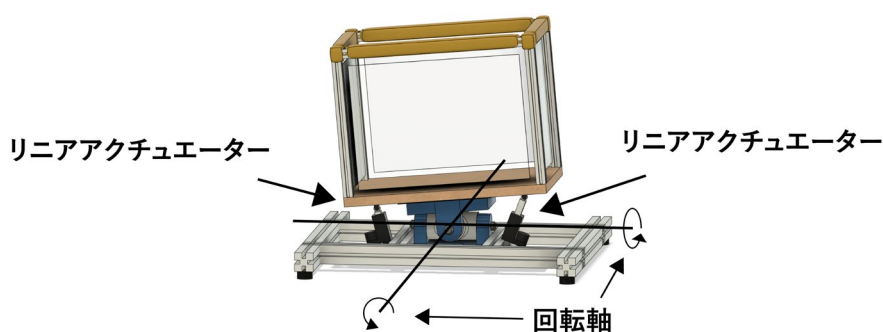


図 10 傾斜提示装置の外観

体験者は傾斜板に乗った状態で体全体を使った振り向きを行わない。これは主として安全のためである。さらに体験中に前方以外に移動するためには迷路をその方向に傾ける必要性が発生する。それにより前方に傾く頻度を減らす効果も生じる。

傾斜板の中心に、前後方向と左右方向に回転する軸と軸受の組がある。この軸受の組は傾斜板と体験者の荷重を支える。傾斜板の回転中心からみて右前と左前にリニアアクチュエーターがある。回転中心からみた2本のリニアアクチュエーターがなす角は90度である。そのため2本のリニアアクチュエーターの長さを独立して変更することで、傾斜板の角度を前後方向と左右方向に関して自由に調節できる。現在の傾斜角はロータリーエンコーダーにより取得される。

迷路内で壁に衝突した際と段差を通過した際に発生する衝撃を、衝撃提示装置で再現する。衝撃提示装置は迷路コントローラーで用いる衝撃提示装置と同一の原理で、1軸に簡略化の上、大型化し搭載する。

## 4.3. 安全装置

本企画では体験者が可動する装置に乗って体験を行う。よって体験者と周囲の人や物に危険が及ばないように十分配慮する。そのためシステムは予防的、運用的な安全装置をもつ。

初めに予防的な安全装置について述べる。装置はアルミフレームで骨格が構成され体験者が乗る事に対して十分な強度をもつ。迷路コントローラーは体験者がバランスをとる際にかかる

力で破損しない設計とする。体験者の全周に台座に固定された手すりを配置する。体験者は後部の扉を開け乗り降りする。手すりはHMDを被り視界が制限された状態でもつかめるよう十分に大きい。また手すりにはクッション材がまかれておりぶつかった際でもけがをしにくい。手すりによって体験者の大きい動きを制限し、重心が傾斜板の外に出てしまうことも防ぐ。

傾斜板は可動するため台座との隙間がある。この隙間に人の体や服の裾が挟まれると事故が発生する可能性がある。安全のため体験者がのる傾斜板は高さ約 50cm の壁が取り付けられている。壁は傾斜板に固定されており、足を滑らせ衣服の裾や足が可動部に挟まれる可能性を減少させる。傾斜板の壁の背後には扉があり体験者が足を上げずに出入りできる。

次に運用的な安全装置について述べる。迷路コントローラーと傾斜提示装置には両手、両足を検出するスイッチを取り付ける。スイッチによっていずれかの手足が装置から離れたことが検出されると体験者がバランスを崩しそうであると判断し、傾斜提示装置の動作を停止させる。これらのスイッチにより体験者が乗り降りしている場合と片足立ちになっている不安定な状態で動作することも自動的に防ぐ。両足の検出スイッチは、体験中に足を使った振り向きを防ぐ効果もある。装置の背後にある扉は閉じている状態を検出するスイッチをもち、システムは扉が開いたまま作動しない。

さらにシステムは非常停止ボタンをもつ。体験中になんらかの異常が発生した場合はこのボタンを押し傾斜提示装置の動作を停止させる。停止の際は傾斜提示装置への電力供給を遮断し確実に停止させる。ボタンは 2 か所に設置されている。一方は体験者が操作できる位置として迷路コントローラーの上部にある。他方は補助者が操作できる位置として手すりの後方上部にある。いずれのボタンが押された場合でも停止する。

上記のような予防的、運用的な安全装置により体験者と周囲の安全を確保する。

## 5. 予備実験

本企画では、迷路の中にいることを受動的な感覚によって知覚させるために、傾けられている感覚の提示が必要不可欠である。そのため、迷路内で傾けられていると感じる強度の傾斜提示が可能かどうか検証を行った。

初めに、傾きを提示する方法として視覚のみによる方法を検証した。検証のためコントローラーの傾きに依りて迷路全体が傾くようなプロトタイプを Unity で作成した。

図 11 はプロトタイプ内の映像である。このプロトタイプを用いて検証した結果、ある程度の傾き感を提示できたが、理想とする強度には至らなかった。

続いて、1 軸方向に傾斜可能な板を用意し、映像に加えてこの板に乗りながら検証を行った。板の傾きは手動で制御した。その際の様子を図 12 に示す。検証の結果、実際の板の傾きが 5 度程度であっても、視覚と組み合わせることでより映像内と近い傾き感を提示することができ、本企画で理想とする強度を実現できると考えた。よって本企画では、視覚と傾く床を用いる。



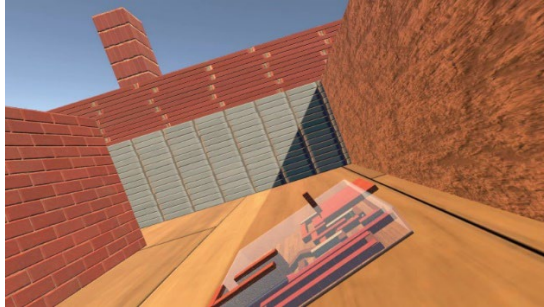


図 11 Unity 内 HMD 映像



図 12 人力で傾ける様子

## 6. スケジュール

本企画のスケジュール

5月下旬	企画書作成、提出、予備実験
6月上旬	迷路コントローラーの設計、Unity コンテンツ作成
6月下旬	迷路コントローラーの制作とテスト、その成果をもとに傾斜提示装置の設計
7月上旬	傾斜提示装置の設計と部品の発注、製作
7月下旬	傾斜提示装置の製作と耐久試験、その結果をもとに改良
8月上旬	システムの結合テスト、Unity コンテンツ改良、チーム外で耐久テスト
8月中旬	システムの結合テスト、完成

## 参考文献

- [1] 加我君孝, 瀬藤光利, 落合敦, 都筑俊寛, 石川文之進: 前庭知覚と傾斜知覚, 認知神経科学 7 巻 1 号, pp. 16-22, 2005.
- [2] 遠藤佳章, 鈴木暁, 糸数昌史, 小野田公, 久保晃: ヘッドマウントディスプレイを用いた Virtual Reality 映像とモニター映像が立位重心動揺に及ぼす影響の違い, 理学療法化学 33 巻 3 号, pp. 457-460, 2018.
- [3] 竹田仰, 金子照之: 広視野映像が重心動揺に及ぼす影響, テレビジョン学会誌 Vol.50, No.12, pp. 1935-1940, 1996.