

5x5_Cuboid 上の物理的な迷路への複数方向表現と AR の導入効果

小野峻輔¹, 藤井誠貴², 田邊基起³,
天満誠也¹, 宮崎光二¹, 奥村宏平⁴, 中道上^{1,4}

概要: 本研究では, 従来の物理的な壁や橋を用いた巨大迷路において, 進行可能な方向を矢印型の NEXT マーク「>>」による複数方向表現を取り入れた NEXT>>迷路を提案する. またこれらの巨大迷路に拡張現実 (AR) 技術を用いた場合の導入効果について明らかにする. AR を導入した NEXT>>AR 迷路では, 4 方向の情報を 1 枚の AR マーカーで表現可能である. そのため 25 本の柱を持つ「5x5_Cuboid」環境では, 設置する AR マーカーの枚数を壁や橋の場合の 24 枚から 16 枚に削減できる. 実験の結果, 物理的な迷路では壁や橋と NEXT>>迷路において探索時間に差はなかった. AR を導入した場合には, 3 種の迷路全てにおいて探索時間が平均で 237% 長くなり, 楽しさや難しさが向上する結果となった. これらの結果から NEXT>>AR 迷路は, 設営効率と体験品質の両立が可能であることが示された.

1. はじめに

屋内外などで開催されるイベントなどで段ボールやエアークラフトといった様々な形で巨大迷路が楽しられている. 田邊らは, センサーや AR 等の技術を組み合わせてエンターテインメント環境を実現するための人間行動を計測する環境として「5x5_Cuboid」を提案している[1]. 「5x5_Cuboid」環境は, プラスチック段ボールで作られた 25 本の柱を持つ環境であり, 柱と柱の間に壁を配置することによって巨大迷路環境を実現することが可能である.

物理的な迷路では壁が固定されているため繰り返し遊ぶと飽きが生じやすい. これを解決するために AR 壁迷路が提案されている[2]. AR 壁迷路は, 物理的な巨大迷路に AR 技術を導入した巨大迷路である. 実際に迷路の壁が配置されるのではなく, モバイル端末で AR マーカーを読み取ることでモバイル端末の画面上に AR 壁オブジェクトが表示される. AR 技術を導入することで探索体験の向上が図られており, 探索時間の延長と楽しさの増加が報告されている. また, 物理的な迷路では壁位置に壁や橋など通行止めの役割を持つオブジェクトを配置する必要があり, 設営の負荷が課題となっている.

本研究では, 道路標識の「指定方向外進行禁止」に当たる複数方向への進行可能な方向に矢印型の NEXT マーク「>>」を取り入れた NEXT>>迷路を提案する. NEXT マーク「>>」は壁位置の手前の交差点に当たる位置に配置するため, 壁位置にオブジェクトを置く場合よりも設置数を減少することが期待される. またこれまでの壁の通行止めによる迷路から, 新たな迷路体験を提供することが期待される. 本研究では, 人間行動計測環境「5x5_Cuboid」を用いて, 提案手法である NEXT>>迷路と先行研究の壁迷路や橋迷路との比較実験を行う. また先行研究と同様に AR 技術を導入し, NEXT マーク「>>」を AR オブジェクトとして表示する NEXT>>AR 迷路を設営したうえで AR の導入効



図 1 人間行動計測環境「5x5_Cuboid」

果を分析する.

2. AR 迷路の環境と先行研究

本研究では, センサーや AR 等の技術を組み合わせてエンターテインメント環境を実現するための人間行動を計測する環境として提案されている「5x5_Cuboid」を用いて, 迷路の計測実験を行う. AR 技術を用いた経路案内に関する研究は近年活発に行われており, Qui ら[3]は AR 技術を用いた経路案内に関する研究を体系的にレビューしており, 認知地図形成の促進など AR が道案内に有効であることを報告している. 本研究では, この知見をエンターテインメント分野に展開する.

2.1 人間行動計測環境「5x5 Cuboid」

「5x5_Cuboid」は, プラスチック段ボールで作られた 25 本の柱を持つ環境 (図 1) である. 「5x5_Cuboid」環境では, 迷路の壁は取り除かれており, 基点となる迷路の柱だけが配置されている. 従来の巨大迷路として使用する場合は, 柱と柱の間に壁を配置することによって巨大迷路環境を実現することが可能である. 「5x5_Cuboid」の柱は, 縦 180cm, 横 90cm の標準サイズのプラスチック段ボール板を 4 枚組み合わせる形で作られている. この柱に使用されているプラスチック段ボールは軽量で丈夫であるため, ぶつかっても怪我をしにくい. また, 4 枚のプラスチック段ボール板は接合されており, 折り畳み可能であるため, 設営

1 福山大学工学部情報工学科
2 株式会社アクティス
3 福山大学工学研究科
4 アンカーデザイン株式会社

や撤去も容易に実施することができる。

2.2 AR マーカーと AR オブジェクト

AR 迷路は、モバイル端末のカメラと AR マーカーを利用した AR 技術を用いる。「5x5_Cuboid」内の柱と柱の間の壁位置に AR オブジェクトを表示することで、巨大迷路を実現する。様々なデザインの AR マーカーと、それに対応した AR オブジェクトによる表現の拡張性を考慮し、複数の巨大迷路を統合的に作成することができる。また、ソフトウェア上で迷路の道順を変更することが可能なため繰り返し遊ぶことが可能である。

WebAR はブラウザ AR とも呼ばれ、Web ブラウザ上で体験できる拡張現実 (AR) である。この特徴は、AR アプリケーションや専用アプリケーションをインストールする必要がないことである。本研究では、AR マーカーを読み取る端末は iPhone11 を使った。ブラウザは Safari を使用した。図 1 に実験で使用した AR マーカーの例を示す。図 2 に AR マーカーを読み取った際の見え方を示す。AR マーカーは AR.js Marker Training を用いて作成した。読み取り用の AR マーカーは、A4 用紙に縦横 19.3cm で印刷し、ラミネートした。通常のフィルムでラミネートすると、読み取り時に光が反射して認識できないことがあった。対策として、片面にマットフィルムをラミネートした。本研究では、AR マーカーを地面に設置することを想定する。

AR 迷路に表示する AR オブジェクトは、3D 制作ソフト Blender を用いて制作した。Web AR でオブジェクトを表示するための HTML コードは、A-frame を使って開発した。A-frame は、バーチャルリアリティ体験を構築するためのウェブフレームワークである。AR オブジェクトのサイズと表示位置は、`<scale=「0.02,0.02,0.02,」 position=「0 0,5 0」>` に設定した。

2.3 AR 壁迷路と AR 橋迷路

「AR 壁迷路」は、AR 技術を活用した新しい形式の迷路である。この迷路では、図 2 に示す配置図のように、AR マーカーを 24 枚配置する。これを読み込むことで、立方体の AR 壁オブジェクトをスマートデバイスの画面に表示される。図 3 に示すように「AR 壁迷路」では(a)通れる場合は何も表示されなく、(b)通れない場合は直方体の AR 壁オブジェクトが表示される。これは、従来型の迷路とは異なる視覚的および操作的な特徴を持っており、物理空間と拡張現実が融合した体験を利用者に提供することができる。

「AR 橋迷路」は、AR 技術を用いて橋の状態 (壊れた橋と壊れていない橋) を AR オブジェクトで表示する迷路である。「AR 壁迷路」同様に「AR 橋迷路」でも図 2 に示す配置図のように AR マーカーを配置する。図 4 に示すように「AR 橋迷路」では(c)通れる場合は壊れていない橋を表示し、(d)通れない場合は壊れた橋が表示される。さらに、地面にブルーシートを敷いて川を渡るような世界観を演出

し、探索者に没入感を与える仕掛けが施されている。視覚

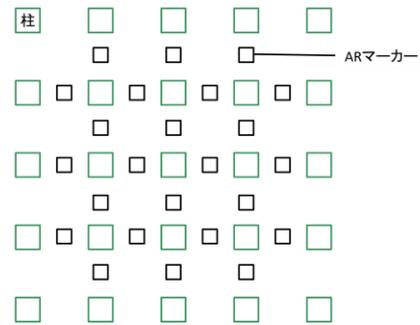
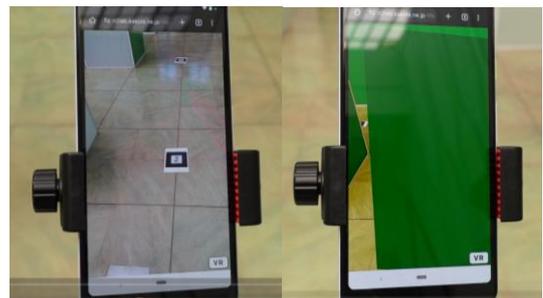
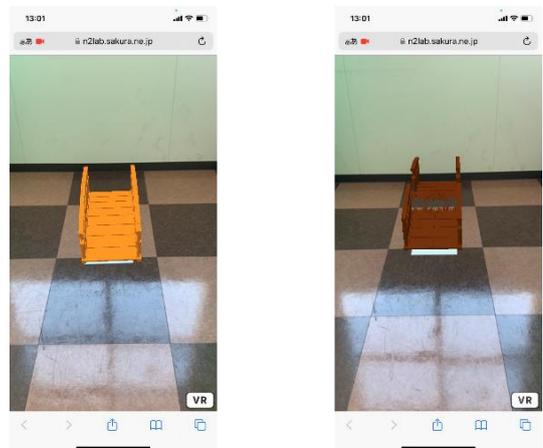


図 2 AR 迷路における AR マーカーの配置図



(a)通れる場合 (b)通れない場合

図 3 AR 壁迷路で使用するオブジェクト



(c)通れる場合 (d)通れない場合

図 4 AR 橋迷路で使用するオブジェクト

的な工夫により、現実と拡張現実がシームレスに融合した環境を提供している。

先行研究で AR (拡張現実) を導入することで、探索時間と楽しさの評価が向上することが確認された。特に橋をモチーフにした視覚的・世界観の異なる迷路でも同様の効果が見られ、探索時間が長いほど楽しさの評価が高まる傾向があった。AR 技術を用いた迷路ではその傾向がより顕著であり、視覚的・インタラクティブな体験が参加者の興味を持続させ、全体的に高い楽しさの評価につながったこと

が明らかとなった。

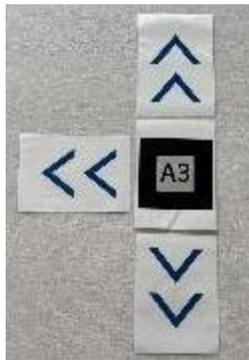


図 5 NEXT>>迷路の複数方向表現 NEXT マーク

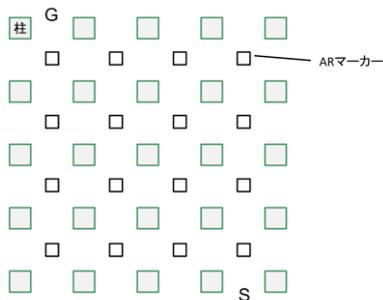


図 6 NEXT>>AR 迷路の AR マーカー配置図

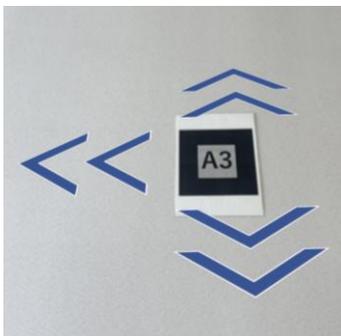


図 7 複数方向表現 AR オブジェクト

3. 複数方向表現の導入

3.1 複数方向表現の検討

2.3 節でも述べた先行研究では1枚のARマーカーに1つのARオブジェクトを表示させていた。これは道路標識に当てはめると「通行止め」にあたる。本研究では、道路標識の「指定方向外進行禁止」に当たる複数方向への進行可能な方向に矢印型のNEXTマーク「>>」を取り入れたNEXT>>迷路を提案する。図5にNEXT>>迷路の複数方向表現を取り入れたNEXTマークの例を示す。NEXTマーク「>>」は壁位置の手前の交差点に当たる位置に配置するた

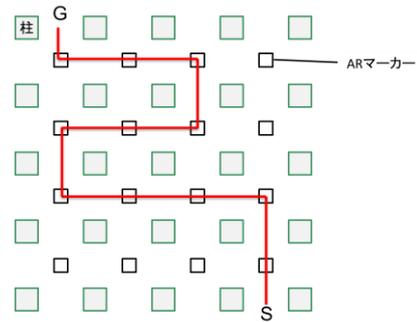


図 8 NEXT>>AR 迷路の経路長

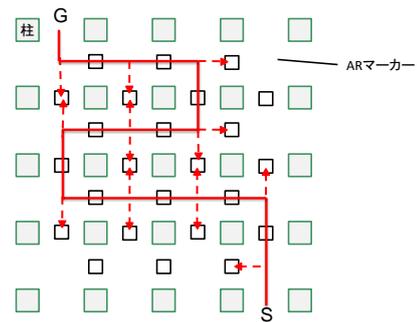


図 9 先行研究の AR 迷路の経路長

め、壁位置にオブジェクトを置く場合よりも設置数を減少することが期待される。

この複数方向表現を用いたNEXT>>迷路にARを導入した「NEXT>>AR迷路」と呼ぶ。提案するNEXT>>AR迷路は、図6のように4本の柱に囲まれたマスの中央にARマーカーを16枚設置する方向規制型AR迷路である。これは、道路標識をもとにすると規制標識の指定方向外進行禁止にあたる。NEXT>>AR迷路は、図7のようにスマートデバイスの画面に矢印が表示される迷路である。

「NEXT>>AR迷路」はARオブジェクトの矢印を用いて構築した巨大迷路である。矢印で進める方向を表現することで、進める経路と進めない経路を探索者に示す仕組みである。この迷路では視覚的要素が探索ルールの理解をサポートし、直感的にルートを判断する助けとなっている。

3.2 NEXT>>AR 迷路への導入効果

先行研究のAR迷路(図2)では柱と柱の間の壁位置にARマーカーを設置するため、ARマーカーを24枚使用する。NEXT>>AR迷路では、4本の柱に囲まれたマスの中央にARマーカーを設置するため、ARマーカーの枚数を16枚に減らすことができる。

図8はNEXT>>AR迷路の経路の図で赤い実線は迷路の経路を示す。図9は先行研究のAR迷路の経路の図で、赤い実線は迷路の経路を示す。先行研究のAR迷路とNEXT>>AR迷路はマーカーの枚数が異なるが、図8と図9

より、同じ経路のまま探索することができる。

またスタートからゴールまで行くのに全方向の AR マーカーを読み込もうとした際は、図 8 の NEXT>>AR 迷路では右下の「S」から左上の「G」まで行くのに 1 枚の AR マーカーで 4 方向の矢印が表示されるため、AR マーカーを 11 回読み取らないといけない。図 9 の先行研究の AR 迷路では右下の「S」から左上の「G」まで行くのに 1 枚の AR マーカーに 1 つの AR オブジェクトしか表示されないため AR マーカーを 25 回読み取らないといけない。

このことから AR マーカーの配置を NEXT>>AR 迷路に変えることで AR マーカーの読み取り回数が 14 回減少する。これまでの壁の通行止めによる迷路から、新たな迷路体験を提供することが期待される。しかし、AR マーカーの読み取り回数が 14 回減少する点から、探索時間が短縮されることが予想され、またそれにともない巨大迷路としての楽しさや難しさが低下する懸念がある。

4. 複数方向表現の巨大迷路における探索実験

本研究では、従来の物理的な壁や橋を用いた巨大迷路において、進行可能な方向を矢印型の NEXT マーク「>>」による複数方向表現を取り入れた NEXT>>迷路を提案する。複数方向表現の導入効果、また AR の導入効果を明らかにするために巨大迷路における探索実験を実施した。

4.1 実験環境の設定

本実験で使用した迷路は、人間行動計測環境「5x5_Cuboid」上で設置した。「5x5_Cuboid」では、柱が縦 5 本、横 5 本の計 25 本で構成されている環境である。AR 迷路においては、Excel のセルの並びを参考に A1~G4 の英数字マーカーを設置した。今回の迷路における AR マーカーの配置図を前述の図 5 に示す。そのため、迷路のマスとして考えた場合では、4x4 マスが迷路全体のマスである。迷路のマス目が 16 マスである場合スタートからゴールまでの経路パターンは 184 通り考えられる。本研究では迷路の経路長と迷路の難易度を考慮し、経路長が 13 マスになるように経路長を設定して実験を行った。

実験に使用した迷路は、壁迷路、橋迷路、NEXT>>迷路の 3 種類を実空間の場合と AR を導入した場合の計 6 種類の巨大迷路である。以降、それぞれの巨大迷路を下記のように呼ぶ。

- ・ 実壁迷路
- ・ イラスト橋迷路
- ・ NEXT>>リアル迷路
- ・ AR 壁迷路
- ・ AR 橋迷路
- ・ NEXT>>橋迷路

4.2 実験手順

実験は 2024 年 10 月 20 日に福山大学の学園祭において実施し、対象者は大学生 10 名とした。福山大学学園祭で実

施した AR 迷路環境を図 1 に示す。参加者は、それぞれの巨大迷路を探索し、探索時間の測定およびアンケートによる主観評価を行った。

実験手順としては、各参加者が担当する迷路を探索し、スタート地点でストップウォッチを開始し、ゴール地点に到達した時点で停止することで探索時間を記録した。その後、参加者はアンケートに回答し、迷路の娯楽性(楽しさ)および難易度について 0~10 点のスケールで主観的に評価した。

4.3 実験結果

本実験で得られた巨大迷路ごとの探索時間の平均と標準偏差の結果を表 2 に示す。またアンケート評価で収集した楽しさの評価結果を表 2 に、難しさの評価結果を表 3 に示す。探索時間の平均を見ると、実空間の迷路ではイラスト橋迷路が 45.30 秒と最も長く、AR では AR 壁迷路が 116.28 秒と最も長く、全体では AR 壁迷路が最も探索時間が長い結果となった。楽しさの評価結果では、全体では AR 壁迷路が 8.30 と最も高く、難しさの評価結果においても、全体で AR 壁迷路が 7.00 と最も高い結果となった。

5. 複数方向表現の導入効果

本章では、巨大迷路における複数方向表現の導入効果について比較を行う。まず、実空間の巨大迷路における複数方向表現の導入効果として「実壁迷路」「イラスト橋迷路」「NEXT>>リアル迷路」の 3 種類の比較を行う。そして、AR 迷路における複数方向表現の導入効果では「AR 壁迷路」「AR 橋迷路」「NEXT>>AR 迷路」の 3 種類の比較を行う。

5.1 巨大迷路への複数方向表現の導入効果

本節では、巨大迷路における複数方向表現の導入効果について比較を行う。表 1 から探索時間の比較を実壁迷路、イラスト橋迷路、NEXT>>リアル迷路で行う。探索時間の平均はそれぞれ 40 秒前後であり、大きな差は見られなかった。標準偏差に着目すると NEXT>>リアル迷路が最も大きい値となっている。表 2 の楽しさの評価は、実壁迷路が 6.00 と最も低く、表 3 の難しさの評価は、実壁迷路が最も高い結果となっている。楽しさや難しさにおいて、標準偏差に着目すると NEXT>>リアル迷路が最も大きい値となっている。

複数方向表現を導入した NEXT>>リアル迷路の探索時間、楽しさ、難しさの標準偏差が最も大きい点については、新たな迷路体験であるため、個人ごとの差が大きくなったためと考えられる。しかし、それぞれの平均値に大きな差はないため、新たな巨大迷路の方式として受け入れられていることが示唆されている。

5.2 AR 迷路への複数方向表現の導入効果

本節では、AR 迷路における複数方向表現の導入効果について比較を行う

表 1 迷路ごとの探索時間 (秒)

	実壁迷路	イラスト橋迷路	NEXT>>迷路	AR 壁迷路	AR 橋迷路	NEXT>>AR 迷路
設置した AR マーカーの枚数	—	—	—	24 枚	24 枚	16 枚
平均	39.17	45.30	41.21	116.28	104.41	76.17
標準偏差	12.84	8.91	15.84	47.74	49.71	48.89
AR 導入効果	—	—	—	297%	230%	185%

表 2 迷路ごとの楽しさの評価 (0~10)

	実壁迷路	イラスト橋迷路	NEXT>>迷路	AR 壁迷路	AR 橋迷路	NEXT>>AR 迷路
平均	6.00	7.30	6.70	8.30	8.20	8.00
標準偏差	1.55	1.10	2.19	1.95	1.54	1.61
AR 導入効果	—	—	—	138%	112%	119%

表 3 迷路ごとの難しさの評価 (0~10)

	実壁迷路	イラスト橋迷路	NEXT>>迷路	AR 壁迷路	AR 橋迷路	NEXT>>AR 迷路
平均	4.40	3.60	3.90	7.00	6.50	6.50
標準偏差	1.91	1.85	2.34	1.84	2.42	2.33
AR 導入効果	—	—	—	159%	181%	167%

表 1 から探索時間の比較を AR 壁迷路と AR 橋迷路と NEXT>>AR 迷路で行う。平均探索時間は AR 壁迷路では 116.28 秒、AR 橋迷路では平均探索時間は 104.41 秒にもかかわらず、NEXT>>AR 迷路では 76.17 秒と最も短い結果となった。NEXT>>AR 迷路が設置した AR マーカーの枚数が少なく、AR 壁迷路・AR 橋迷路よりも読み込む回数が少ないことから平均探索時間が短縮されたと考えられる。またマスの中で進行方向を決定する際に、NEXT>>AR 迷路では 1 枚の AR マーカーを読み込むだけでよいが、AR 壁迷路・AR 橋迷路では 2 回または 3 回読み込む必要があり、その差が平均探索時間の差に表れたと考えられる。

表 2 の楽しさの評価は、3 つの AR 迷路すべてが 8.00 を超え高く大きな差は見られなかった。また表 3 の難しさの評価においても、6.50 をこえているが、3 つの AR 迷路に大きな差は見られなかった。このことより AR マーカーの枚数を減らした複数方向表現の NEXT>>AR 迷路で、平均探索時間は 1 番短かったものの、楽しさ難しさでは AR 迷路と同等の評価を得られることが分かった。つまり複数方向表現にした NEXT>>AR 迷路が先行研究の AR 迷路と同等のエンターテインメント性を提供していることが明らかとなった。

6. AR の導入効果

本節では、巨大迷路における AR の導入効果について比較を行う。実空間の巨大迷路「実壁迷路」「イラスト橋迷路」「NEXT>>リアル迷路」の 3 種類と、AR 迷路「AR 壁迷路」「AR 橋迷路」「NEXT>>AR 迷路」の 3 種類の比較を行う。

表 1 から、迷路ごとの探索時間では、AR 導入効果として平均 237% $(=(297\%+230\%+185\%)/3)$ 、AR 迷路の探索時間が長くなっている。また表 2 より、楽しさにおいても平均 123% $(=(138\%+112\%+119\%)/3)$ 向上しており、表 3 より難しさも平均 169% $(=(159\%+181\%+167\%)/3)$ 向上している。これらの結果から、巨大迷路においては AR の導入により、探索時間をさらに延ばすことに大きく貢献し、楽しさ・難しさの向上につながっていることが明らかとなった。

また 2024 年 10 月 20 日に福山大学学園祭の中でイベントとして NEXT>>AR 迷路の実証実験を実施した。学園祭の中で実施することで、幅広い年齢層や興味を持つ 158 名の参加者のデータを収集できた。迷路のクリア時間の平均は 69.10 秒であった。また楽しさの評価の平均は 8.34 という値を得ることができ、難しさは 3.58 という値を得た。

NEXT>>AR 迷路の探索を通じて得られた自由記述形式のコメントから、参加者が感じた体験の特徴と課題を把握することができた。まず、AR 技術を活用した複数方向表現の迷路の新規性について、多くの参加者が好意的な意見を寄せた。たとえば、「カメラの方向に出て行き先が分かって楽しかった」や「スマホ時代の世界に体験でき、いい時間が過ごせました」というコメントからは、NEXT>>AR 迷路が従来の物理的な迷路にない独特の体験を提供していることが示唆された。一方で、AR 技術だけでは物足りない点についてのコメントも収集した。特に「何か迷路 + α あれば子供が楽しめると思います」や「ただ進むだけだったので、何かイベント性(ポイント獲得など)を持たせるといいのではないかと思った」といったコメントは、エンターテインメント性の改善の余地があることが明らかとなった。

近年、スマートモバイルデバイスの急速な普及に伴い、エンターテインメント分野ではAR(拡張現実)技術の研究が盛んである。AR技術としては、位置情報ARを利用したポケモンGO[4]、マーカーレスARを利用したIKEAプレイス[5]などがある。また、ARを使用して屋内環境で案内を提供するシステムもある[6]。これらのシステムで表示されるオブジェクトは、マスコットや家具などARオブジェクトとして表示可能なものである。これらのAR技術を応用することによりAR迷路のさらなるエンターテインメント性の向上が期待できる。

7. まとめ

本研究では、道路標識の「指定方向外進行禁止」に当たる複数方向への進行可能な方向に矢印型のNEXTマーク「>>」を取り入れたNEXT>>迷路を提案する。またARを導入したNEXT>>AR迷路では、4方向の情報を1枚のARマーカーで表現可能であり、NEXTマーク「>>」は壁位置の手前の交差点に当たる位置に配置するため、壁位置にオブジェクトを置く場合よりも設置数を削減できる。25本の柱を持つ「5x5_Cuboid」環境では、設置するARマーカーの枚数を壁や橋の場合の24枚から16枚に削減できる。

実空間の巨大迷路「実壁迷路」「イラスト橋迷路」「NEXT>>リアル迷路」の3種の迷路にARを導入した場合には、全てにおいて探索時間が平均で237%長くなった。また楽しさにおいても平均123%向上しており、難しさも平均169%向上している。これらの結果から、巨大迷路においてはARの導入により、探索時間をさらに延ばすことに大きく貢献し、楽しさ・難しさの向上につながっていることが明らかとなった。

これらの結果からNEXT>>AR迷路は、設営効率と体験品質の両立が可能であることが示された。ARを導入した巨大迷路には、さらなるゲーム性を取り入れることも可能であり、今後、エンターテインメント性の向上が期待される。

謝辞 本研究は、株式会社アクティス共同研究プロジェクトおよび公益財団法人サタケ技術振興財団の助成を受けて実施した。

参考文献

- [1] 田邊基起, 山中正敬, 西山佳吾, 小山惇之介, 中道上・人間行動計測環境「5x5Cuboid」の提案とAR迷路オブジェクトの検討・エンターテインメントコンピューティングシンポジウム2023 論文集・Vol.2023・No.・pp.321-324・2023年
- [2] 田邊基起, 小山惇之介, 天満誠也, 藤井誠貴, 奥村宏平, 中道上, “5x5_Cuboid “上の物理的な迷路へのAR導入効果, 情報処理学会インタラクション2025 論文集, 2025, Vol. No.1B-36, pp.371-376.
- [3] Qiu, Z., Mostafavi, A. & Kalantari, S. Use of augmented reality in human wayfinding: a systematic review. *Virtual Reality* 29, 154 (2025).
- [4] Niantic, Inc “PokemonGO”

<https://www.pokemongo.jp/> (2025 12-10 Access)

- [5] Inter IKEA Systems B.V 1999-2024, “IKEA Place app launched to help people virtually place furniture at home”<https://www.ikea.com/global/en/newsroom/innovation/ikea-launches-ikea-place-a-new-app-that-allows-people-to-virtually-place-furniture-in-their-home-170912/> (2025-12-10 Access)
- [6] 永松 明, 中里 祐介, 神原 誠之, 横矢 直和, 屋内環境におけるモバイルプロジェクション型AR案内システム, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 2009, 14 巻, 3 号, p. 283-293