

360 度映像を用いた効果的な建設作業ハザード知覚訓練の検討†

高橋 明子*1 三品 誠*2 菅間 敦*1

事前のグループインタビュー調査により建設業では IT 機器や視覚教材の安全教育への利用が期待されていることが明らかになった。そこで、本研究では視覚教材に着目し、360 度映像を用いた効果的な建設作業ハザード知覚訓練の方法を検討するため、住宅建築現場で働く新人作業者を想定した若年の建設作業未経験者 40 名を対象に、メディア形態と提示装置の 4 つの組み合わせ（①全天球静止画・ヘッドマウントディスプレイ条件、②全天球動画・ヘッドマウントディスプレイ条件、③全天球静止画・PC モニタ条件、④2D 静止画・PC モニタ条件）の訓練効果とメンタルワークロードや映像酔いといった主観的負担を比較した。その結果、危険情報の内容の記憶はすべての実験条件で成績が良かったが、ハザード位置の記憶は全天球静止画の 2 条件が 2D 静止画・PC モニタ条件よりもズレ幅が小さく作業成績を良いと評価された。映像酔いはすべての実験条件で評価値が低く、酔いの症状はほとんど見られなかった。得られた知見をもとに訓練状況別に効果的な 360 度映像を用いたハザード知覚訓練の条件について提案するとともに、今後の課題について述べた。

キーワード: ハザード知覚、メンタルワークロード（精神的負荷）、360 度映像。

1. はじめに

建設業は他業種に比べ死亡災害が多く、令和 5 年の死亡者数は 223 名（全業種の 29.5%）を占めた³⁾。建設業での事故分析を行った研究では、建設業での災害について人的要因に関連したものが 70%を占めていると報告されている⁴⁾。近年では、人的要因のなかでも作業者のハザード（危険源）を認識できないことが事故やケガにつながることを指摘され⁵⁾、建設作業にとってハザード知覚能力の向上は非常に重要な課題だと言える。

著者らは、先行研究において大工職の建設作業者のハザード知覚スキルの獲得プロセスやハザード知覚スキル獲得を促進する要因について、インタビュー調査により明らかにしたが⁶⁾、これらの知見を実務者へフィードバックし、実行可能性の高い安全対策について検討することとした。「ハザード知覚」を「危険予知」へ置き換え、

（一社）住宅生産団体連合会 工事 CS（Customer Satisfaction）・安全委員会に所属する住宅メーカーの安全管理者等 11 名（平均勤続年数 31.1±6.4 年）を対象とし、自社の危険予知に関する新しい安全対策の提案についてのグループインタビューを行った⁷⁾。SCAT⁸⁾という質的データ分析法を用いて分析した結果、まず IT 機器と視覚教材の安全教育への利用の期待に関する意見が得られた。IT 機器については、「従来のハザード知覚訓練は作業経験が考慮されていなかったことから、初心者や訓練する仕組みの重要性が認識されており、IT 機器の若年者の親和性や低価格化により IT 機器の安全教材への利用を期待していること」、「IT 機器によって遠隔からリ

アルタイムでの見守りや情報発信をすることができるため安全管理ツールとしての利用可能性に期待していること」、「IT 機器によって隙間時間を利用できるなど IT 機器の学習タイミングを自由に選べる利点を認識していること」等が挙げられた。また、視覚教材については、「建築現場では類似の事故が多く起こっており、従来の教育内容は変えずに、教材に興味を持ってもらうために動画を使うなど、状況的興味を引く教育方法の工夫をすること」、「優れた高齢技能者を支援者として活用する仕組み作りと、動画のような視覚教材による安全技術の伝承が必要だと認識していること」等が挙げられた。

以上のように、IT 機器や視覚教材の利用への期待が多くの意見で得られた。そのため、本研究では視覚教材に着目し、効果的なハザード知覚訓練の方法について検討することとした。

2. 360 度映像を用いた効果的な建設作業ハザード知覚訓練手法に関する実験^{1) 2)}

1) 目的

近年 VR 装置や 360 度カメラなど高度な装置が安価に購入できるようになり、取り扱いも比較的容易であることから、産業現場での安全教育へ利用することが期待される。建設現場での安全教育においてこれらを用いることにより、各社の現場状況を再現するようなハザード知覚訓練を実施することが可能となる。他方、VR 装置は、酔いやメンタルワークロードに与える影響など、従来の安全教育では検討されなかった生体や心理へ及ぼす負担を考慮しなければならない。

本実験は、実験参加者が数分間の 360 度映像によるハザード知覚に関する教材を視聴後に、ハザード情報に関する記憶課題と訓練に関する生体や心理への主観的負担についての評価を行う。このとき、映像教材のメディア形態と提示装置の組み合わせを複数条件設定する。実験条件間で記憶課題の成績と主観的負担の評価を比較し、効果的で負担の少ないメディア形態と提示装置の条件に

† 本報の一部は、土木学会論文集 F6（安全問題）特集号 79(24) 23-24003¹⁾、日本人間工学会第 63 回大会、2F3-06²⁾ の記述の一部を加筆修正し、まとめ直したものである。

*1 労働安全衛生総合研究所リスク管理研究グループ(菅間は研究当時)

*2 有限会社サイビジョン

連絡先：〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6

労働安全衛生総合研究所 リスク管理研究グループ 高橋明子

E-mail: takahashi.akiko@s.jniosh.johas.go.jp

ついて検討することを目的とする。

2) 方法

・実験条件

3 種類のメディア形態（全天球静止画・全天球動画・2D 静止画）と 2 種類の提示装置（ヘッドマウントディスプレイ（以下、HMD）、PC モニタ）の中から現実的な組合せを選定し 4 条件を設定した。具体的には、全天球の静止画を HMD で視聴する「①全天球静止画・HMD 条件」、①のメディア形態を全天球の動画へ変更した「②全天球動画・HMD 条件」、①の提示装置を PC モニタへ変更した「③全天球静止画・PC モニタ条件」を設定した。加えて、2D の静止画を PC モニタで視聴する「④2D 静止画・PC モニタ条件」を設定した。

・作成した映像教材

映像教材は、学習者が住宅建築現場の 2 階フロアの中央から立位の状態で現場を見回し、周囲に存在する複数のハザード（不安全状態や不安全行動）を学習する場面を想定した。練習試行 1 場面と本試行 2 場面を設定し、それぞれの場面について実験条件に合わせて 3 種類のメディア形態、すなわち、全天球静止画、全天球動画、2D 静止画の映像を作成した。

全天球静止画と全天球動画については、フロアの中央付近に 360 度カメラ（Shenzhen Arashi Vision 製 Insta360 ONE）を設置し、160 cm の高さから静止画と動画を撮影した。2D 静止画については画角に制約があり全天球映像と同じ位置から撮影するのが困難であった。そのため、360 度カメラとなるべく同じ位置からデジタルカメラ（Canon 製 EOS 5D Mark III）で壁面に向かって東西南北 4 方向を撮影した。このとき、各画像の左右

端はオーバーラップさせるように撮影し、撮影位置とカメラの高さと角度、画角を適宜調整して撮影した。

映像教材に含めたハザード 映像教材に含めたハザードは、住宅建築現場の危険予知に関する先行研究⁹⁾を参考に、不安全状態が放置されているものと他の作業者が不安全行動をとるものを選定した。これらのハザードについて「起こる可能性のあること（以下、発生事象）」と「対処行動」を加え、危険情報を作成した。映像教材にて提示した危険情報を表 1 に示す。

図 1 に映像教材の本試行 1 の提示タイミングと全天球静止画の例を示す。まず実験参加者に作業状況を把握してもらうため、フェーズ I において作業風景のみを 50 秒間提示した。本試行 1 のフェーズ I で提示した作業風景内には表 1 の本試行 1 の [1]~[5] に示す 5 つのハザードが含まれていたが、フェーズ I においてはそれらを文字情報などで明示しなかった。

次に、フェーズ II において、作業風景内の本試行 1 の [1]~[5] のハザードの近くに、表 1 の本試行 1 の [1]~[5] の危険情報（「ハザード+発生事象+対処行動」に関する文字情報）を白地に赤枠のついた吹き出しに黒い文字で順番の一つずつ提示した。危険情報の提示タイミングと提示時間については、フェーズ II 開始 3.5 秒後に効果音を鳴らし、鳴り始めから 1.5 秒後に本試行 1 の [1] のハザードの近くへ本試行 1 の [1] の危険情報（「ハザード+発生事象+対処行動」に関する文字情報）を 20 秒間提示した。続いて、本試行 1 の [1] の危険情報の提示終了から 3.5 秒後に効果音を鳴らし、鳴り始めから 1.5 秒後に本試行 1 の [2] のハザードの近くへ本試行 1 の [2] の危険情報を 20 秒間提示した。すなわち、1 つのハザードにつき準備時間（3.5 秒+1.5 秒）+危険情報提示時間 20 秒の計 25 秒間が

表 1 映像教材にて提示した危険情報

場面	練習		本試行1					本試行2				
ハザード	[1] 不適切な服装で作業前点検をしています。	[2] 長尺の部材が立て掛けられています。	[1] 脚立を背にしてのぼり降りしています。	[2] 釘打ち機にエアホースをさしたまま釘をセットしようとしています。	[3] 開口部が開いたままになっています。	[4] 電源コンセントをさしたまま電動丸のこの作業前点検をしています。	[5] 材料などが散らかっています。	[1] 脚立から身を乗り出して作業をしています。	[2] 首にタオルをかけて丸ノコ作業をしています。	[3] 釘打ち機にエアホースをさしたまま部屋を移動しています。	[4] 床にコードが乱雑に置かれています。	[5] 電気のコードがぶら下がっています。
起こる可能性のあること（発生事象）	頭をぶつかけたり、腕を切ったりするので、	倒れてくるおそれがあるので、	足をふみはずして落ちるので、	誤って発射することがあるので、	墜落するおそれがあるので、	スイッチが入り動き出すことがあるので、	つまずいて転倒するおそれがあるので、	バランスを崩して落ちるので、	タオルが刃に巻き込まれるおそれがあるので、	誤って発射することがあるので、	つまずいて転倒するおそれがあるので、	目に入り失明するおそれがあるので、
対処行動	ヘルメットをかぶり、袖まくりをやめましょう。	固定する、もしくは、倒して置きましょう。	脚立の方を向いてのぼり降りしましょう。	釘のセット時はエアホースを抜きましょう。	開口部を閉じましょう。	点検時は電源コンセントを抜きましょう。	片付けて作業しましょう。	無理な姿勢にならない位置に脚立を置きましょう。	タオルをかけるのはやめましょう。	移動時はエアホースを抜きましょう。	コードを壁に沿わせるなどして片付けましょう。	高い位置で束ねましょう。

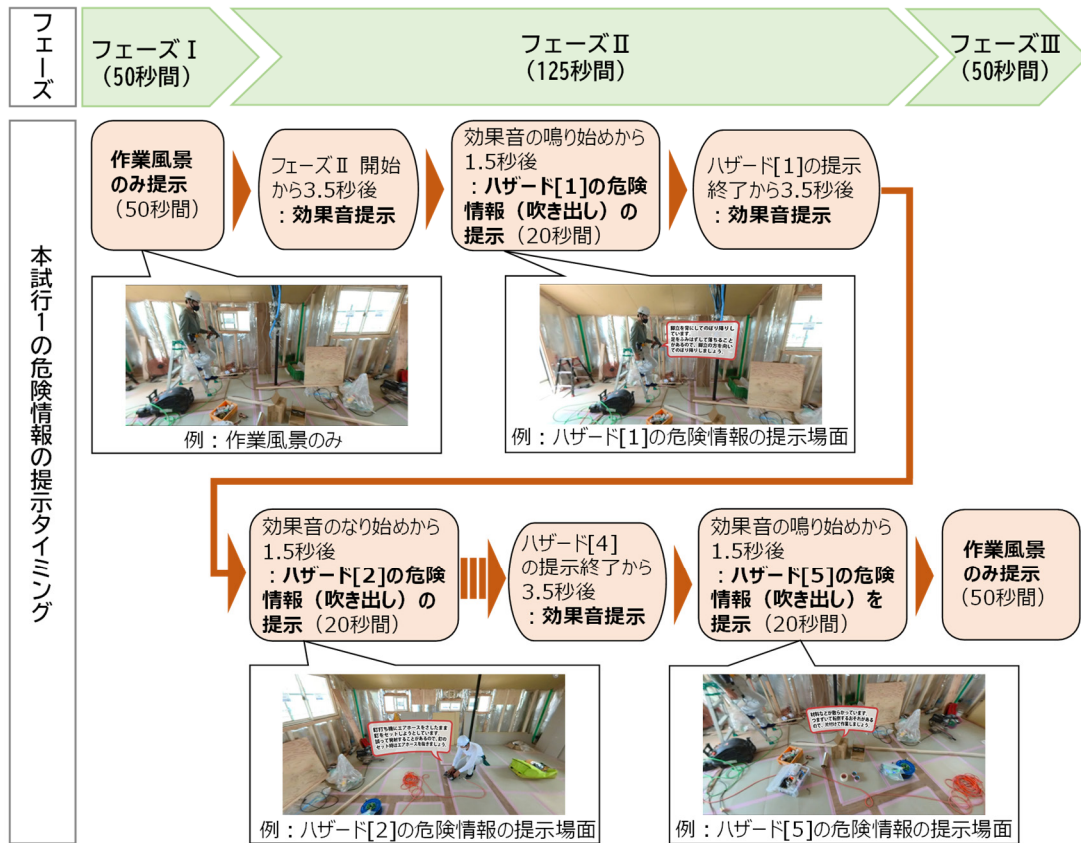


図1 映像教材の本試行1の提示タイミングと全地球静止画の例

配分された。その後も同様に水平 360 度方向へ時計回りで危険情報を提示し、全部で 5 つのハザードに対して 5 つの危険情報を提示した。

最後に、フェーズⅢにおいてフェーズⅠと同様に作業風景のみを 50 秒間再提示した。

各実験条件で提示した動画像については、全地球静止画を用いた条件ではフェーズⅠからⅢまで同一の静止画を継続的に提示した。全地球動画を用いた条件ではフェーズⅠからⅢまで同一の動画 (25 秒間) を反復して提示した。2D 静止画を用いた条件では、フェーズⅠにおいて他の実験条件と同様に計 50 秒間の作業風景を提示するため、4 方向の静止画を時計回り (本試行 1 は西北東南、本試行 2 は東南西北の順) で各 12.5 秒間、計 50 秒間提示した。次に、フェーズⅡではフェーズⅠと同じ静止画を本試行 1 は西北東南西、本試行 2 は東南西北東の順で 25 秒間ずつ提示した。このとき 1 つの静止画に 1 つのハザードと危険情報 (「ハザード+発生事象+対処行動」に関する文字情報) が含まれるようにした。最後に、フェーズⅢではフェーズⅠと同様の方法で 4 方向の静止画を提示した。

なお、練習試行、本試行 2 についてもフェーズⅠ、フェーズⅢの作業風景の提示時間は 50 秒間とし、フェーズⅡのハザードと危険情報の提示方法は、1 つのハザードにつき準備時間 (3.5 秒+1.5 秒) +危険情報提示時間 20 秒の計 25 秒間が配分された。

・実験参加者

実験参加者は、建設業の新人作業者を想定し、建築作業未経験者で 18~25 歳の男性 40 名 (平均 21.3±1.9 歳) であった。実験では視覚教材を視聴してもらうため、視力は 0.7 以上、視野と色覚に問題のない者を選定した。実験参加者はそれぞれの条件に 10 名ずつ割り当てられた。

実験参加者には事前に実験の目的と方法を説明し、書面にて参加の同意を得た。また、実験参加者はリクルーティングを担った調査会社から実験終了後、所定の謝礼を受け取った。

本研究は、独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所の研究倫理審査委員会の承認を得て実施した (R3-安 6-01)。

・測定項目

測定項目は、危険情報の内容とハザード位置の記憶課題、それらのメンタルワークロード、臨場感、映像酔い、危険感、注視行動、空間のイメージ能力を測定した。本報ではこのうち、空間のイメージ能力、危険情報の内容とハザード位置の記憶課題、それらのメンタルワークロード、映像酔いの測定について述べる。

a. 空間のイメージ能力 本研究で行った記憶課題を遂行するには空間での視覚的なイメージ能力が関わると考えられたため、実験参加者のイメージ能力に条件間で有意差がないかどうかについて、メンタルローテーション

テスト¹⁰⁾を行って検討した。メンタルローテーションテストは10の立方体からなる基準図形に対し、提示される10の立方体からなる比較図形が同じ図形か異なる図形かについて判断するテストであった。テストは20問からなり、2分間で実施した。

b. 危険情報の内容の記憶課題 危険情報の内容をどのくらい覚えていたかについて検討するため、映像教材の10の危険情報(表1)の内容について自由記述で回答してもらった。採点は、4項目(ハザード、発生事象、対処行動、起因物)の記述の有無を基準とし、各1点として40点満点(4点×10の危険情報)で得点を算出した。

c. ハザード位置の記憶課題 ハザード位置をどのくらい覚えていたかについて検討するため、提示した10のハザードのうち5つのハザードについて、映像教材で提示した建築現場を1/20縮尺で再現した建築模型上での位置を指摘してもらい、円形シールを貼付して印をつけた。ハザードを床面に投影した正解領域から円形シールの中心点までの最短の直線距離(以下、ズレ幅)を計測し、5つのハザードのズレ幅の合計値を算出した。

d. 各記憶課題のメンタルワークロード 各記憶課題の主観的な負担を調べるため、メンタルワークロードを測定した。本研究では、危険情報の内容の記憶課題とハザード位置の記憶課題のメンタルワークロードを分け、それぞれについて評価してもらった。測定は、日本語版NASA-TLX¹¹⁾を使用し、ビジュアルアナログスケール(直線の両端に、例えば「弱い」と「強い」を配置し、実験参加者が提示された項目の感じ方について直線上に垂線を引くことで回答するもの)により回答してもらった。回答について0~100で得点化し、下位項目得点(6項目)を算出した。

e. 映像酔い ハザード知覚訓練によって映像酔いの症状が起きるかどうかを検討するため、Simulator Sickness Questionnaire(以下、SSQ)^{12) 13)}を用いて測定した。SSQはシミュレータ酔いに関する16の質問から構成され、4件法(4段階で回答するもの)で回答するものであった。回答を基に全体的傾向を表すTS(合計)と下位指標であるN(悪心)、O(眼精疲労)、D(失見当識)を算出した。

・実験手順

すべての実験参加者は、最初にフェイスシートを記入した後、メンタルローテーションテストを受けた。

次に、HMDを使用する「①全天球静止画・HMD条件」と「②全天球動画・HMD条件」の2条件の実験参加者は、3m×2mの空間の中央に着座しHMDを装着した。Tobii Pro Lab(トビー・テクノロジー製、version 1.152)による注視点のキャリブレーション後、実験参加者は、明日この現場で新人作業員として働くと思って映像を視聴するように教示を受け、練習試行として3分程度の映像教材1場面を視聴した。その後HMDを外し、危険感(ケガの可能性、不安感)と危険情報の内容の記憶課題に記述形式で回答した。

続いて、練習試行と同様の方法でHMDを装着し、本

試行として4分程度の映像教材1場面を視聴した。その後、HMDを外して危険感と危険情報の内容の記憶課題に記述形式で回答し、ハザード位置の記憶課題に口頭形式で回答した。これを2場面行った。

他方、PCモニタを使用する「③全天球静止画・PCモニタ条件」と「④2D静止画・PCモニタ条件」の2条件の実験参加者は、メンタルローテーションテストの後、27インチのPCモニタ(解像度:1920×1080、リフレッシュレート:60Hz)の前に着座した。このとき、実験参加者の快適な位置を決めてもらい、画面から視点までの距離は平均で60.7±3.7cmであった。アイトラッカーを装着し注視点のキャリブレーションの後、前述のHMD条件と同様の手順で練習試行と本試行を実施した。なお、「③全天球静止画・PCモニタ条件」の実験参加者は、マウス操作により映像教材を360度自由に視聴した。一方、「④2D静止画・PCモニタ条件」は、PCモニタ上に提示される映像教材を受動的に観察した。

本試行2場面終了後、すべての実験条件の実験参加者が危険情報の内容とハザード位置の記憶課題のメンタルワークロード、臨場感、映像酔いのアンケートに記述形式にて回答した。また、最後に実験の感想等についてインタビューに口頭で回答した(実験の平均所要時間:80.6±8.2分)。

3) 結果と考察

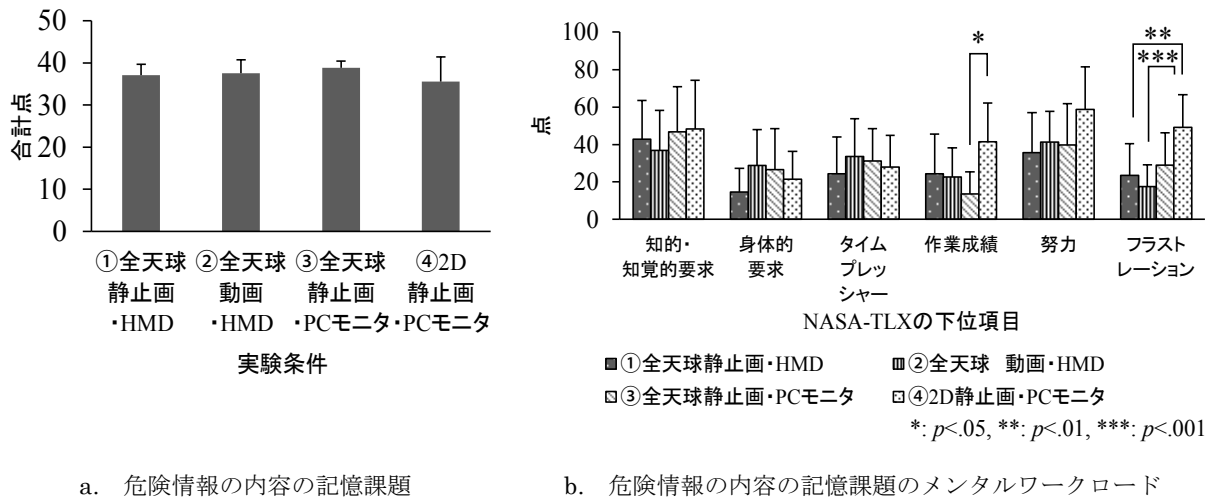
・分析データの確認

実験参加者の空間での視覚的イメージ能力を検討するため、メンタルローテーションテストの得点を実験条件間で比較した結果、有意差は認められなかった($F(3, 36) = .078, p = .972, \eta^2 = .006$)。そのため、以降の分析には40名全員のデータを用いた。

・危険情報の内容の記憶課題とメンタルワークロード

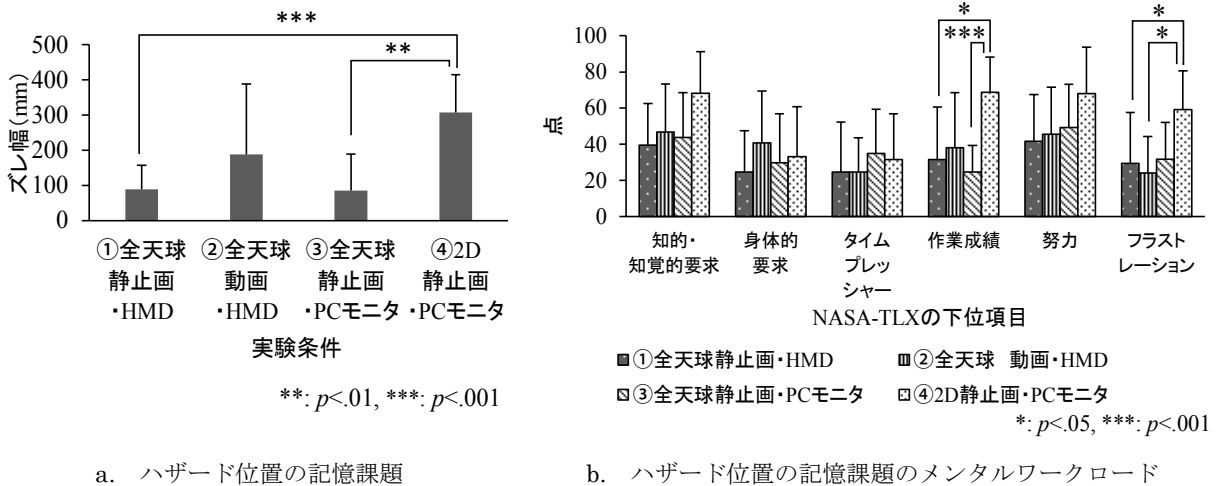
危険情報の内容の記憶課題の得点とその記憶課題のメンタルワークロードの各下位項目得点について、実験条件間で比較した結果を図2に示す(それぞれ図2a、図2b)。危険情報の内容の記憶課題についてはすべての条件で平均点が非常に高く(40点満点中35.6~38.9点)、実験条件間での有意差は見られなかった($F(3, 36) = 1.250, p = .306, \eta^2 = .094$)。一方、この記憶課題のメンタルローテーションについては、作業成績において、③全天球静止画・PCモニタ条件が④2D静止画・PCモニタ条件よりも有意に良いと評価され($p < .05$)、フラストレーションにおいて、①全天球静止画・HMD条件と②全天球動画・HMD条件が、④2D静止画・PCモニタ条件よりも有意に低いと評価された(それぞれ $p < .01, p < .001$)。

危険情報の内容の記憶課題の実験条件間の有意差が見られなかったことについて、①全天球静止画・HMD条件と②全天球動画・HMD条件、③全天球静止画・PCモニタ条件の3条件は視聴している空間内で首振りやマウス操作により能動的に危険情報を探索した。それに対し、④2D静止画・PCモニタ条件はPCモニタに危険情報が



a. 危険情報の内容の記憶課題 b. 危険情報の内容の記憶課題のメンタルワークロード

図2 危険情報の内容の記憶課題とメンタルワークロード



a. ハザード位置の記憶課題 b. ハザード位置の記憶課題のメンタルワークロード

図3 ハザード位置の記憶課題とメンタルワークロード

受動的に提示された。そのため、前者の3条件のほうが危険情報の探索時間が長くなると考えられたが、探索方法の違いが危険情報の内容の記憶課題の成績には影響しなかった。また、本研究の1つの危険情報（ハザード、発生事象、対処方法）は平均で4.2行55.8文字であった。注視行動については今後詳細に分析する必要があるが、本研究の危険情報の量に対しては20秒間の提示時間は内容を記憶するのに十分であったと言える。

次に、危険情報の内容の記憶課題のメンタルワークロードについて、④2D静止画・PCモニタ条件が、他の条件よりも作業成績が悪く、フラストレーションが高いと評価された。実験後のインタビューでは、④2D静止画・PCモニタ条件の複数の実験参加者から、危険情報の内容とハザード位置の記憶課題を同時に課されたことが負担だったという感想が聞かれた。このことを考慮すると、危険情報の内容の記憶課題のメンタルワークロードの結果はハザード位置の記憶課題に影響を受けており、適切に測定できてない場合があったかもしれない。した

がって、危険情報の内容の記憶課題のメンタルワークロードの結果については慎重にとらえる必要がある。

・ハザード位置の記憶課題とメンタルワークロード

ハザード位置の記憶課題の得点とその記憶課題のメンタルワークロードの各下位項目得点について、実験条件間で比較した結果を図3に示す(それぞれ図3a, 図3b)。ハザード位置の記憶課題については実験条件間で有意差が見られたため(Welch's $F(3, 19.124) = 9.427, p < .001, est. \omega^2 = .457$)、多重比較をした結果、①全地球静止画・HMD条件と③全地球静止画・PCモニタ条件が、④2D静止画・PCモニタ条件よりも有意にズレ幅が小さかった(それぞれ $p < .001, p < .01$)。一方、この記憶課題のメンタルワークロードについては、作業成績において①全地球静止画・HMD条件と③全地球静止画・PCモニタ条件が、④2D静止画・PCモニタ条件よりも有意に良いと評価され(それぞれ $p < .05, p < .001$)、フラストレーションにおいて①全地球静止画・HMD条件と②全地球動画・HMD条件が、④2D静止画・PCモニタ条件より

も有意に低いと評価された（それぞれ $p < .05$, $p < .05$ ）。

ハザード位置の記憶課題において、①全天球静止画・HMD 条件と③全天球静止画・PC モニタ条件が、④2D 静止画・PC モニタ条件よりも有意にズレ幅が小さかったことについて、森田他（2019）¹⁴⁾においても、全天球静止画をHMDで提示する条件と平面モニタで提示する条件が、全方位の静止画像を平面モニタで提示する条件よりも空間記憶テストの得点が高く、全天球静止画のHMD提示とモニタ提示は同等の実空間再現性が得られることが示されている。全方位の静止画像の作成方法とテストの目的が異なるが、本研究においてもハザード位置の記憶成績に関し森田他（2019）¹⁴⁾と類似の結果が得られたと言える。

また、ハザード位置の記憶課題のメンタルワークロードについても、④2D 静止画・PC モニタ条件が①全天球静止画・HMD 条件と③全天球静止画・PC モニタ条件よりも作業成績が悪く、①全天球静止画・HMD 条件と②全天球動画・HMD 条件よりもフラストレーションを高く評価されたが、実験後のインタビューでは、多くの実験参加者が開口部や掃き出し窓のような固定物を基準とし、ハザード位置を認知する方略を用いたことを述べた。①全天球静止画・HMD 条件と②全天球動画・HMD 条件、③全天球静止画・PC モニタ条件の3条件の実験参加者は360度方向を自由に観察することができ、この方略を任意に利用できた。しかし、④2D 静止画・PC モニタ条件の実験参加者は受動的に映像が提示されたため、この方略を十分に任意に利用できず、他の実験条件と比べてハザード位置の記憶課題の成績が悪くメンタルワークロードが高かったと考えられる。

・映像酔い

映像教材を用いた訓練による映像酔いについて、SSQ-N（悪心）、SSQ-O（眼精疲労）、SSQ-D（失見当識）、SSQ-TS（全体）を実験条件間で比較した結果を表2に示す。すべての実験条件およびすべての項目において平均評価値が非常に低く、実験条件間の有意差は見られなかった（SSQ-N： $F(3,36) = 1.097$, $p = .363$, $\eta^2 = .084$, SSQ-O： $F(3,36) = 1.828$, $p = .160$, $\eta^2 = .132$, SSQ-D： $Welch's F(3,19.41) = .991$, $p = .418$, $est.\omega^2 = .027$, SSQ-TS：

$F(3,36) = 1.288$, $p = .293$, $\eta^2 = .097$ ）。

酔いの理論の一つとして、映像の観察者が前庭システムを通して重力を真下を感じるが、映像の傾きによって視覚システムでは重力を傾いて知覚するため、感覚の不一致から酔いの症状が生じることが指摘されている¹⁵⁾。本研究で使用した映像教材は、固定された視点からの映像であり、①全天球静止画・HMD 条件と②全天球動画・HMD 条件、④2D 静止画・PC モニタ条件では、視覚システムでも前庭システムでも重力方向の感覚が一致したため、酔いが生じづらかったと考えられる。他方、③全天球静止画・PC モニタ条件は、マウスの上下方向の操作により、提示映像内の重力方向と実験参加者に働く重力方向が不一致となり、実験参加者の視覚システムと前庭システムでの感覚の不一致が生じたと考えられる。しかしながら、この条件では実験参加者の意志でマウス操作がなされ、重力方向の変化について予測や調整をすることができたため、他の条件と有意差が認められるほどの酔いが生じなかった可能性がある。

3. おわりに

本研究は、住宅建築現場で働く新人作業者を対象に360度映像を用いたハザード知覚訓練を実施することを想定し、メディア形態・提示装置の組み合わせ4条件について、記憶成績のような学習効果と訓練による生体・心理への主観的負担を測定した。その結果、危険情報の内容の記憶については、メディア形態と提示装置の組み合わせにかかわらず成績が良かったが、ハザード位置の記憶については、全天球静止画の2条件が、2D 静止画・PC モニタ条件よりもズレ幅が小さく作業成績を良いと評価された。また、映像酔いについては酔いのどの項目およびどの実験条件も評価値が低く、実験条件間の有意差は認められなかった。

これらの結果を受け、訓練状況別に360度映像を用いたハザード知覚訓練の効果的な実施方法について提案したい。

一般的な建築作業に関するハザード知覚訓練、すなわち現場や作業工程を限定せず、学習者がハザード、発生

表 2 映像酔い

	SSQ-N(悪心)		SSQ-O(眼精疲労)		SSQ-D(失見当識)		SSQ-TS(全体)	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
①全天球静止画・HMD	2.9	8.6 <i>n.s.</i>	11.4	16.0 <i>n.s.</i>	7.0	9.3 <i>n.s.</i>	79.3	107.9 <i>n.s.</i>
②全天球動画・HMD	1.9	5.7	16.7	13.5	20.9	21.8	147.6	131.3
③全天球静止画・PCモニタ	6.7	9.6	25.0	15.2	9.7	8.9	155.0	106.7
④2D静止画・PCモニタ	1.0	2.9	12.1	10.3	8.4	12.8	80.2	87.9

事象、対処行動といった危険情報の内容を学習することを目的とする場合は、本実験の危険情報の内容の記憶についてすべての実験条件で成績が良かったことから、本研究と同様の方法で360度映像の教材を作成すれば、どのメディア形態と提示装置の組み合わせであっても高い訓練効果が期待できる。また、本実験では、平均4.2行55.8文字の危険情報を20秒間提示し良い成績が得られたため、情報の提示量の一例を示せたと考える。

他方、特定の現場や特定の作業工程でのハザード知覚訓練、すなわち危険情報の内容だけでなく、ハザード位置も学習することを目的とする場合は、本実験のハザード位置の記憶において全天球静止画を用いた場合のズレ幅が小さく、作業成績に関するメンタルワークロードも小さかったことから、全天球静止画を用いることで高い訓練効果を期待できる。加えて、ハザード位置の認知や記憶において、学習者が開口部や掃き出し窓のような固定された対象を基準とする方略を用いることがわかったことから、映像作成時には映像内の基準となる対象に関する情報を明示し、学習を支援することで訓練効果がさらに高まると考えられる。

映像酔いによる負担について、本実験で使用した固定された立位視点からの映像では、すべての実験条件において映像酔いの症状がほとんど認められなかった。そのため、映像作成をする際は本研究と同様の作成方法を行うことが望ましいと言える。

最後に、建設作業者のハザード知覚能力の向上は非常に重要な課題であることを冒頭で述べた。ハザード知覚訓練は、それを実施する管理者と学習者となる作業者の特性、状況、資源等に合わせ、より効果的なものを選択できることが望ましい。しかしながら、ハザード知覚訓練の現場知としての蓄積はあっても、訓練の効果検証は十分に実施されているとは言えない。今後、様々なハザード知覚訓練の効果検証が実施され、建設現場で適材適所に利用されることや、研究的知見に基づいた新しく効果的なハザード知覚訓練が提案されることを期待する。また、本研究で提案したハザード知覚訓練が建設現場での訓練の選択肢の一つになることを希望したい。

参 考 文 献

- 1) 高橋明子, 三品誠, 菅間敦. 360度映像を用いた建築作業ハザード知覚訓練のメディア形態と提示装置による効果の比較. 土木学会論文集 F6 (安全問題) 特集号. 2023 ; 79 24 : 23-24003.
- 2) 高橋明子, 三品誠. 建築作業ハザード知覚訓練の効果と精神的負担- 360度映像の提示形態の違いによる比較-. 日本文学工学学会第63回大会. 2022 ; 2F3-06.
- 3) 厚生労働省. 職場のあんぜんサイト 労働災害統計確定値. 2024.
<https://anzeninfo.mhlw.go.jp/user/anzen/tok/anst00.html> (最終アクセス日 2024年6月17日)

- 4) R. A. Haslam, S. A. Hide, A. G. F. Gibb, D. E. Gyi, T. Pavitt, S. Atkinson, A. R. Duff. Contributing factors in construction accidents. *Applied Ergonomics*. 2025 ; 36 : 401-415.
- 5) I. Jeelani, A. Albert, J. A. Gambatese. Why do construction hazards remain unrecognized at the work interface? *Journal of Construction Engineering and Management*. 2017 ; 143 5 : 04016128.
- 6) 高橋明子, 三品誠. 大工職の建設作業者のハザード知覚スキル獲得プロセスに関する探索的検討. *労働科学*. 2022 ; 97 2 : 31-47.
- 7) 高橋明子, 三品誠. ハザード知覚スキル向上のための安全対策に関するグループインタビュー調査:住宅メーカーの安全管理者等を対象として. *安全工学シンポジウム 2021 講演予稿集*. 2021 ; 254-257.
- 8) 大谷尚. 質的研究の考え方 研究方法論から SCAT による分析まで. 名古屋大学出版会. 2019.
- 9) 高橋明子, 高木元也, 三品誠, 島崎敢, 石田敏郎. 建設作業向け安全教材の開発と教育訓練効果の検証. *人間工学*. 2013 ; 49 6 : 262-270.
- 10) S. G. Vandenberg, A. R. Kuse. Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*. 1978 ; 47 : 599-604.
- 11) 芳賀繁, 水上直樹. 日本語版 NASA-TLX によるメンタルワークロード測定- 各種室内実験課題の困難度に対するワークロード得点の感度-. *人間工学*. 1996 ; 32 2 : 71-79.
- 12) R. S. Kennedy, N. E. Lane, K. S. Berbaum, M. G. Liliethal. Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*. 1993 ; 3 3 : 203-220.
- 13) 平柳要. 乗り物酔い(動揺病)研究の現状と今後の展望. *人間工学*. 2006 ; 42 3 : 200-211.
- 14) 森田裕介, 長濱澄, 大森一真, 田尻圭祐. ヘッドマウントディスプレイを用いた全天球画像の提示による実空間再現性に関する一考察. *日本教育工学会論文誌*. 2019 ; 43 Suppl. : 129-132.
- 15) L. Rebenitsch, C. Owen. Review on cybersickness in applications and visual displays. *Virtual Reality*. 2016 ; 20 : 101-125.