

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：32616

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18526

研究課題名（和文）学修意欲向上のためのVRと実技演習による革新的な建築施工教育システムの構築

研究課題名（英文）Development of Innovative Building Education System Based on VR and Practical Exercises to Enhance Motivation for Learning

研究代表者

位田 達哉（INDEN, Tatsuya）

国土館大学・理工学部・准教授

研究者番号：40434279

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、大学生が自ら学修する意思を持つための動機付けを目的とした教育方法の創出を目的とする。建築施工学と医療工学の学問的なアプローチを融合させ、VRによる仮想演習と、建設現場を模擬した施工演習の双方を駆使したハイブリッドな体験型教材を開発した。その結果、VR建設現場シミュレータによって労働災害を仮想体験することで、建設現場の安全教育が深まることがわかった。また、VR演習と実技演習の釘打ちを比較したところ、作業能率分析では両者の差異を見出すことができなかったが、生理的指標を導入することで、作業への集中度や緊張のない作業の状況といった傾向を把握することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今なお徒弟的な世界である建設現場の教育に対して、教場講義という“読む・聞く・見る”の間接的な学修には限界があり、建設現場で働く施工管理技術者の大半は、やむを得ず現場で改めて学び直し、自身の経験を通じて建設現場の施工管理能力を獲得しているのが現状である。このギャップを埋めるためには、在学中にいかに密度の高い経験を積めるかが鍵であり、従来適わなかった建設現場での学修をVRで実現しようとする試みは、大学生の学修意欲向上に留まらず、建築技術者や作業従事者などの建築生産人口減少に対する抜本的対策にもなり得る。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to create an educational method that motivates university students to study on their own. By combining the academic approaches of construction engineering and medical engineering, we developed a hybrid experiential educational material that makes full use of both virtual practice by VR and construction practice simulating a construction site.

As a result, it was found that the virtual experience of occupational accidents by the VR construction site simulator deepened safety education at construction sites. In addition, when nailing was compared between VR space and real space, no difference between them could be found in the work efficiency analysis. However, by introducing physiological indicators, trends such as the degree of concentration on work and tension-free work situations could be identified.

研究分野：建築材料施工

キーワード：VR 人工現実感 作業能率測定 生理的指標 脳波 心拍変動 学生製作 RMSSD

## 1. 研究開始当初の背景

建築施工とは、設計図書に従って実際に建物を造る行為である。この建築施工教育は、現状として座学やビデオ教材によるものが中心であるが、現場の理解や教育効果を考えるならば、学生が工事中の建設現場を自由に歩き回って五感で体験し、また、人身事故の発生現場や品質のトラブルなどに立ち会い、その原因や対策を自ら考えることが本質的な建設現場の学修に繋がることに疑念はない。しかしながら、我が国における建設現場は全産業でも死亡災害が最も多い業種である。未経験の学生が建設現場に入場することのリスクが高かるゆえに、学生は自由に歩き回ることではできず、安全が確保された動線においての見学に限らざるを得ない。事故や不具合などに関する緊急対応を目の当たりにすることができれば、現場力を高めるための貴重な経験になり得るはずであるが、学生の危険を顧みない見学・体験ができるような機会を設けることは、教育・安全の観点はもちろん、人道的にも許されるものではない。この状況を打破するためには、過剰な安全対策を施した授業用のモデル建設現場を造ることがベストであるが、このために数千万円から億単位の金額を投じるのは現実的ではない。

そこで、VR (Virtual Reality) 上に仮想の建設現場を作成し、そこで建築施工の実習だけでなく、不安全行為や労働災害を仮想体験させることができれば、デジタルネイティブとも呼ばれる若年代である大学生にも親和性のある、従来なし得なかった革新的な体験型学修ができるのではないかと考えた。その際、VR建設現場の検証方法に脳波および心拍変動といった生体情報を適用することができれば、視覚性課題遂行時の注意機能のデータから受講者の学修効果や意欲の変化を評価できるのではないかと考えた。さらに、VR上の仮想演習と同等の実技演習を合わせて実施させることで、知識技能の定着を図り、学修効率のブースト効果を期待できるものと考えた。

本研究の開始当初は COVID-19 に伴う緊急事態宣言などによる学修環境の変化が起こり、教育方法を模索していた時期と重なった。本研究では上記に加え、体験学修をどのように代替できるかという視点も加えた。

## 2. 研究の目的

本研究は、大学生が自ら学修する意思を持つための動機付けを目的とした教育方法の創出を目的とし、建築施工学と医療工学の学問的なアプローチを融合させた教材作成のための基礎データを収集するものである。建築施工は技能の蓄積による経験工学の集大成であるが、ここに医療工学で培われた生体データの取得や分析手法を応用することで、古典的な建築施工学のロジックを根本的に革新する。今なお徒弟的な世界である建設現場の教育に対して、教場講義という“読む・聞く・見る”の間接的な学修には限界があり、建設現場で働く施工管理技術者の大半は、やむを得ず現場で改めて学び直し、自身の経験を通じて建設現場の施工管理能力を獲得しているのが現状である。このギャップを埋めるためには、在学中にいかに密度の高い経験を積めるかが鍵であり、従来適わなかった建設現場での学修をVRで実現しようとする試みは、大学生の学修意欲向上に留まらず、建築技術者や作業従事者などの建築生産人口減少に対する抜本的対策にもなり得る。加えて本研究の手法は、建設現場で就労する外国人労働者への新規入場教育にも適用可能であり、建設業界において大きな波及効果を創出するものである。

## 3. 研究の方法

### 3.1 概要

本研究は、建築施工学と医療工学の学問的なアプローチを融合させ、人工現実感による仮想演習（以下、VR演習と略記する）と建設現場を模擬した施工演習（以下、実技演習と略記する）の双方を駆使したハイブリッドな体験型教材を開発するため、2つの項目について研究した。

### 3.2 VR建設現場シミュレータの試作

労働災害の仮想体験ができる現実世界には危険のないVR建設現場シミュレータを試作した。被験者に代表的な建築作業を仮想体験させるとともに、不定期に発生する労働災害を体験させ、その際に脳波および心拍変動をモニタリングすることによって自律神経系の機能解析および心拍変動解析を行い、視覚性課題遂行時の注意機能のデータから被験者の学修効果や意欲の変化との関係を調査した。

VR建設現場シミュレータは、ゲーム開発プラットフォームであるUnity (2019.4 LTS) で構築し、ワークステーションにHMD (H社製 VIVE PRO) を通じて仮想体験できるように構築した。被験者は、国土館大学建築学系学生のうち希望者30名を選出し、脳波は、無線型脳想デバイス (I社製 Muse2) を前額部に装着し、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ 、 $\theta$  波を取得した。心拍変動は、無線型胸心拍センサ (P社製 H10) を用いて心拍数と R-R 間隔を取得し、副交感神経活動の指標となる RMSSD を算出した。これらのデータは、初回と再測定における課題製作の釘打ち時のみをピックアップして、取得データを解析した。加えて、被験前の着席時における安静時を取得した。被験者の区分は、男女と学年で大別し、労働災害の種類 (高所落下、重量物の飛来、重機接触など) を体験させた。さらに、没入感が学修効果に及ぼす影響について検討するため、コントローラに

よる操作とトラッキング（1, 3, 6点）で同様の被験によって比較した。最後に、事前知識の有無、建設現場における安全意識、VR建設現場シミュレータによる学修ツールの可能性を調査するため、5段階尺度法による評価のほか、自由記述によるアンケートを実施した。

### 3.3 VR演習と実技演習との比較検証

VR演習の効果を現実空間の製作活動である実技演習と比較することにより、その効果を検証した。“釘打ち作業”を対象とし、図1のようにVR建設現場シミュレータ内での釘打ち訓練（Vグループ）、現実空間の製作活動である実技演習（Rグループ）、訓練・製作なし（Nグループ）の3グループに分け、木工製作課題の作業能率からその効果を被験により検証した。

木工製作課題は、生体情報デバイスを装着させた被験者に図面を渡し、図面の読み取りから、罫書き、切削、組み立て完了までの作業を動画撮影し、作業能率測定指針に準じた作業能率分析をするため、1秒単位でその作業を分類して所要時間を集計した。

すべての被験者は、はじめに全員が木工製作課題を実施し、その際の作業能率測定（初回測定）を実施した。その後、V・Rのグループごとに体験学修の完了後、再び全員が木工製作課題（再測定）を実施した。

VR空間での釘打ち訓練（Vグループ）、現実空間での製作（Rグループ）の課題概要は以下の通りである。

#### A. VR空間での釘打ち訓練（Vグループ）

VR空間での釘打ち訓練システムを構築した。このシステムはUnityを用いて作成した。被験者には、VR空間の仮想体験として、30本のVR釘打ち訓練をさせ、その完了時間を計測した。

#### B. 現実空間での製作（Rグループ）

2022年6月20日から同年12月2日までの期間、置き床工事（27.9m<sup>2</sup>）、クロス貼り（56.6m<sup>2</sup>）および木造カウンターを製作した。製作には延べ137人工、約320時間を要した。

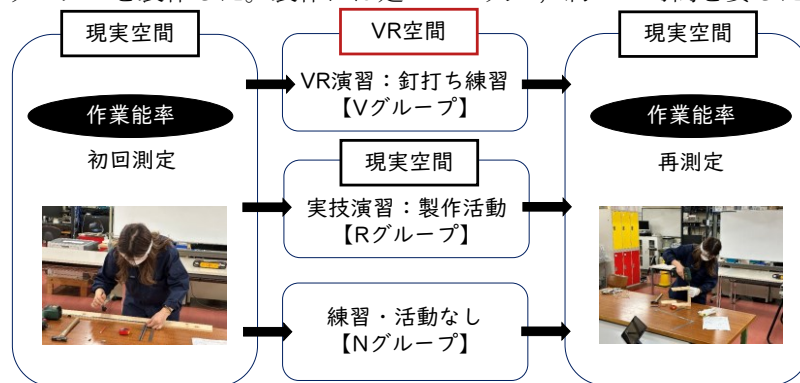


図1 VR演習と実技演習との比較検証フロー

## 4. 研究成果

### 4.1 VR建設現場シミュレータの試作

試作したVR建設現場シミュレータにおける仮想の労働災害の発生状況を図2に示す。

アンケートの結果から、建築現場を詳細に再現することで体験の満足度が向上しており、印象に残りやすくなることから、より厳密なシミュレータを作成することで、学修効果が高まるものと期待できる。一方、着席してゲームのようにコントローラで操作するよりも、自らの身体の動きがモニタリングされるトラッキングの方が、体験臨場感が増す結果となった。その一方で、トラッキングの個数については軽微な増加であり、VR上で自身を示す人アバタの精度向上は、少なくとも今回試作したシミュレータでは大きな効果が認められなかった。

労働災害に関しては、体験前でも直感的に現場の危険性を見出していた一方、現実の労働災害の原因となっている“足場の未緊結”による転落を想像できた被験者はいなかったが、VR建設現場シミュレータの体験により、過半の被験者が足場の緊結の重要性に気づき、具体的な落下対策の提案ができるようになった。すなわち、労働災害の仮想体験によって建設現場における危険性を体験的に理解できたものと考えられる。VR建設現場シミュレータで意図的な労働災害を発生させ仮想体験させることで、自らが問題に気付く体験型学修に類する学修効果を得られる可能性が示唆される。



図2 VR演習による仮想の労働災害

## 4.2 VR演習と実技演習との比較検証

### A. 作業能率分析による動作構成比および動作時間構成比の比較

すべての被験者で“停滞”および“確認”の割合が高い傾向にあった。VグループとRグループを比較すると、単純な時間としてはRグループの方が短時間で作業を終えた。Vグループは経験が要因となって“確認”の時間が短縮されたのに対して、Rグループでは“確認”の時間が長くなった。実際の製作体験によって技能が高まり、Rグループの“確認”の時間も短縮されるものと予想したが、再測定時は丁寧に作業を進めたことで確認時間が増加したものと考えられる。

Rグループの再測定では、定性的な判断であるが、作業時のビデオで検証したところ、Rグループは他のグループよりも手慣れた様子であったが、丁寧に製作課題を行っている様子であった。すなわち、Rグループは実際に製作をしたことにより、手先の作業技術だけでなく、“ものづくり”に対する姿勢そのものに変化があったものと示唆される。一方、VグループとNグループには作業能率分析の範囲では優位な差はみられなかった。

### B. 釘打ちを対象としたVR演習と実技演習との比較

動作時間はVグループが最も時間短縮の割合が高く、作業効率が高まったものと考えられる。その一方で、製作体験グループは釘打ち時間が増えた。Rグループは丁寧に作業をしていたため、かえって長い時間を要したものと考えられる。すなわち、現実空間での体験はものづくりに対して単なる技術向上ではなく、思考錯誤する視点が得られた可能性が示唆される。そこで、これを裏付けるため、木工製作課題の木枠釘打ち箇所の隙間を集計した。VグループおよびRグループでは再測定時に確実に釘打ちできたのに対し、Nグループは釘打ちが不十分であった。完成品の精度からはVRと現実製作との違いはみられず、VR空間での釘打ち訓練により作業能率の効果は望めるものの、実際の製作活動で得られる学修効果とは異なる傾向にあることがわかった。

そこで、VR演習と実技演習で得られる学修効果の違いを分析するため、不具合なく生体情報が取得できた学生9名（男性6名、女性3名、平均年齢 $20 \pm 1$ 歳）のデータを評価対象とし、脳波および心拍変動を解析した。

脳波の測定結果には個人差があるため、 $\alpha$ 波および $\beta$ 波の脳波成分比率から概ねの特徴を把握した。安静時および初回時は、全員が共通の条件で実施したため、類似した傾向を示した。安静時はすべてのグループの被験者ともに目視で落ち着いている様子であり、 $\alpha$ 波が優位であったことから、安定した状態であったと判断できる。初回時は、目視で緊張を伴い集中して作業をしている様子が伺えたが、概ね $\beta$ 波が優位であったことから、この集中状態が脳波からも確認できた。初回と再測定の脳波を作業中の平均値から比較すると、Vグループの脳波成分比率は、 $\alpha$ 波は23.9%から23.7%とほぼ変わらなかったが、 $\beta$ 波は15.2%から22.3%と大幅に増加し、VR仮想訓練による集中力の向上が示唆される。Rグループは、現実空間の製作での慣れから、緊張せずに丁寧な作業ができたと事後の聞き取りで確認したが、脳波成分比率は、 $\alpha$ 波は24.7%から20.5%に微減し、 $\beta$ 波は45.3%から29.6%まで下がった。一方、Nグループの脳波成分比率は、 $\alpha \cdot \beta$ 波とも変化がなかった。

心拍変動に関する時間領域解析に関して、RMSSDの標準値( $27 \pm 12$ ms)に対し、安静時はいずれも高値の副交感神経優位であり、安静状態が確認できた。初回時と比較して再測定時のV・Nグループは類似した挙動を示し、特にVグループでは副交感神経活動減少の時間帯が多くみられ、作業の集中が示唆される。一方、再測定時のRグループは副交感神経優位であり、経験を通じて心身ともに落ち着いて作業ができていたものと示唆される。

生理的指標の導入によって、作業への集中度や緊張のない作業の状況といった作業能率分析では読み取ることのできない傾向を把握することができた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 位田 達哉、三上 可菜子	4. 巻 16
2. 論文標題 VR建設現場の体験評価のための生理的指標の簡易モニタリング手法に関する基礎的研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 国土館大学理工学部紀要	6. 最初と最後の頁 77-83
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 位田 達哉、三上 可菜子	4. 巻 59
2. 論文標題 生理的指標を用いたVR施工教材の学修評価に関する試み	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 建設機械	6. 最初と最後の頁 19-25
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 位田 達哉、三上 可菜子	4. 巻 60
2. 論文標題 コンクリートの施工教育に関する取組みの紹介 VR建設現場教材と学修評価手法の開発	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Concrete Journal	6. 最初と最後の頁 548～553
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3151/coj.60.6_548	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 森 さくら、位田 達哉	4. 巻 92
2. 論文標題 大学における体験型施工教育に関する基礎的研究（建築系大学生の作業能率の実態および製作活動が作業能率に及ぼす影響）	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 第92回 日本建築学会関東支部研究発表会優秀研究報告集	6. 最初と最後の頁 187-190
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 位田 達哉	4. 巻 15
2. 論文標題 建築系大学生を対象とした労働災害体験型VRシミュレータの試作	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 国土館大学理工学部紀要	6. 最初と最後の頁 35-39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kanako Mikami, Tatsuya Inden	4. 巻 55
2. 論文標題 Evaluation of Brain Wave and Heart Rate Related to Experience of VR Construction Educational System for Architecture Students	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The 55th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications	6. 最初と最後の頁 86-87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

[学会発表] 計6件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 位田 達哉
2. 発表標題 建設DX時代にこそ求められる建築工事の体験型学修
3. 学会等名 WID World Interiors Week 2022 in JAPAN (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森 さくら、位田 達哉
2. 発表標題 大学における体験型施工教育に関する基礎的研究 (建築系大学生の作業能率の実態および製作活動が作業能率に及ぼす影響)
3. 学会等名 日本建築学会関東支部研究報告集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 位田 達哉
2. 発表標題 生理的指標からみた学生制作
3. 学会等名 WID World Interiaors Week 2023 in JAPAN (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三上 可菜子、位田 達哉、森 さくら、石田 航星
2. 発表標題 大学における体験型施工教育に関する基礎的研究 (第2報 VR空間における釘打ち訓練が作業能率に及ぼす影響)
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森 さくら、位田 達哉、三上 可菜子、石田 航星
2. 発表標題 大学における体験型施工教育に関する基礎的研究 (第3報 生理的指標を用いたVR釘打ち訓練に関する評価)
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 KONDO Takumi, INDEN Tatsuya
2. 発表標題 Effects of the Interaction between Human Avatars and Body Movements on the Sense of Presence
3. 学会等名 The 10th International Conference on Functional Materials and Applications (ICFMA 2023) (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

国土館大学 位田達哉研究室  
<https://kokushikan-arch.net/indenlab/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------