

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：57102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K12263

研究課題名(和文) 専門科目受講前の予備体験用アクティブ・ラーニング仮想教材の学生視点による開発

研究課題名(英文) Development of Preparatory Experiential Virtual Active Learning Materials for Specialized Course Subjects from a Student Perspective

研究代表者

塚本 公秀 (TSUKAMOTO, KIMIHIDE)

有明工業高等専門学校・創造工学科・客員教授

研究者番号：30155337

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：仮想空間に学生がHMDとコントローラーでインタラクティブに体験学習できる演習・実習棟を構築した。仮想演習室内に学生と開発したアクティブ・ラーニング教材を設置した。試用学生の意見から360°カメラで実際の実験装置や実習作業を撮影した教材の他、仮想空間でこそ活用できる教材として、大型建設機械の動作機構、ミクロ世界に入れる金属結晶構造、負荷されたはりの任意の断面の応力状態を視聴できる教材、安全上失敗できない実験を敢えて行わせる電気回路実験の開発や、遠隔授業の補助教材用にスマートフォンで視聴できる実習の360°動画や製図の立体モデルを制作した。遠隔授業や反転授業のための学習ストーリーを創造した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

教育のDX化は高等教育機関にも波及しており、新しい試みがなされている。一方でXR技術の急速な進歩で教育現場への実装が必要とされている。しかしARやVRの利用環境は確立されておらず、教材開発を進めようとしても、教材提供のプラットフォーム選定さえ困惑する状況である。本研究では開発と現場での使用の問題点を明らかにすることから始めて、VRを中心として実際に学生視点のコンテンツ開発を行い、主に開発時の問題点を提示した。学生の理解が困難な学習項目であっても仮想世界だから容易に学習できるVR技術の適用例を示したことは、現在急速に普及しつつあるDXの先例として有効な開発例を提示できた。

研究成果の概要(英文)：A virtual training facility has been built where students can learn in interactively using head-mounted displays and controllers. Within the virtual training room, students have access to developed active learning materials. we have developed various effective educational materials only in virtual space, instructional videos using omnidirectional camera, showcasing actual experimental apparatuses and hands-on exercises. we have created materials such as the operational mechanisms of large construction machine, metal crystal structures that can be explored in the micro-world, instructional materials that allow students to visualize the stress state of arbitrarily sectioned beams under load, and teaching materials that has can see three-dimensional models of drawings using smartphones for remote learning. Furthermore, we create learning stories for remote and flipped classrooms.

研究分野：工学教育

キーワード：VRコンテンツ アクティブ・ラーニング 予備教材 学生視点 学習前体験

## 様式 C-19, F-19-1, Z-19, CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

2016年はVR元年と呼ばれた。この年VR視聴用デバイスのHMD(Head Mount Display)が複数のメーカーから普及価格で市販され、多くのVR体験施設が開設された。以後、VR技術開発が広く各産業に実装されてきた。製造関係企業的设计・開発現場では製品の評価や検討に使用され、製造現場では安全教育や作業教育に多用されていた。教育機関を対象とした教材も散見されたが、学生の学習への動機付けに高い高価があるとされるアクティブ・ラーニングへの活用としての開発例がなく、北欧などIT先進国の状況から国内状況に適した開発が要求される状況であった。本課題の開始時から現在までの数年間はXR(Virtual reality / Augmented reality(VR/AR)を含む総称)技術の進歩と社会実装が目覚ましく、正に日進月歩を呈している。

VRの教育への導入については2017年にNTIストックホルム高校教員からVRコンテンツの授業成果を視聴したことが契機である。2018年に同校を訪問して授業見学とカリキュラムの内容について説明を受け、開催されていたVRフェスに参加した。この調査から、学生と共同での教材となるVRコンテンツ開発の可能性を得た。

### 2. 研究の目的

本研究の独自性はVR技術を活用して学生の視点から開発したアクティブ・ラーニング教材を構築し、有効性を確認することである。VR技術を教育現場に持ち込むことにより、学生の興味を強く惹く教材がネットワークを用いて遠隔地から使用できる。仮想環境や仮想教材による教育プログラムは教育効果の高い教材となり得る。これまでに行なってきた学生視点の教材開発<sup>1)2)</sup>に融合した研究テーマとなり、学生自身も開発者となることで意欲的に創造する可能性が高くなる。本研究は高等専門学校や大学における授業方法の改善として独自性の高い教育プログラムを提示するため、演習や実習ストーリーにVR技術を取り込んでこれまでにない学生視点での教材を制作し、アクティブ・ラーニングのプログラムを開発するものである。

### 3. 研究の方法

VR教材は仮想世界だからこそ体験が可能となる特徴が明確になるものを基本として開発対象とし、以下のコンテンツ制作を行った。(1)教室では体験できない教材、(2)仮想実験室・演習室、(3)360°カメラでの実写による仮想実習工場、(4)ミクロな世界を視聴できるコンテンツ、(5)シミュレーション結果を3次的に視聴できるコンテンツ、(6)敢えて失敗させる実験のコンテンツ。これらVR技術を活用したアクティブ・ラーニング教材としての可能性を検討した。

技術的な要件は以下に述べる。仮想空間の視聴のためにはスマートホンや、専用のHMDを用いる方法などの数種がある。HMDもDoF(degrees of freedom)と呼ばれる体感できる動きの方向数により大きく2種類に分けられ、HMDに内蔵されているセンサの数に相当する。また、使用するHMDのメーカーによりプラットフォームが異なるため、視聴できるコンテンツも異なっている。本研究では6DoF用にHTC社のVIVE、VIVE Cosmos、Meta社のCosmos2を使用し、3DoF用としてとしてはスマートホンをVRゴーグルに取り付けて用いた。6DoFのHMDを使用して視聴するためには高速な画像処理が必要なので、高速のグラフィックボード搭載のPCを用いた。コンテンツ制作用の機器として全地球撮影写真や動画の撮影用に360°カメラ(GoPro社のGoProMAX)を用いた。

### 4. 研究成果

#### (1)教室では体験できない教材の構築

コンテンツの制作にあたりプラットフォームの選択が必要であるが、NTIストックホルムで使用していたUnreal Engineを使用した。試作の対象としてパワーショベルが学生から提案された。機械工学の機構学で学習するリンク機構が利用されていることからであった。建設機械は大型であるため、授業で用いる通常のモデルは縮小模型であるが、仮想世界であれば実物大での提示が可能である。屋外の空間を自由に瞬時に移動できるように6DoFのHTC VIVEでの使用を前提としてコンテンツの制作を行った。これ以後はベースステーション(外部センサ)が不要となったVIVE Cosmosで開発した。

制作されたパワーショベルはオープンカレッジでVRの体験として中学生にも使用してもらった。VRを初体験する中学生の興味も惹いたことから、アクティブ・ラーニング用教材としての可能性が明らかになった。この時の視聴後の感想から実機の素材や塗装のテクスチャーが表現されていないため「リアルでない」と指摘があり、その後の開発のヒントとなった。(現在はリアルな表現ができるよう改良されている)

#### (2)仮想実験・演習室の構築

アクティブ・ラーニング用教材の制作が目的であることから、実際に存在する設備をVR空間に構築することにした。HMDを用いて視聴できる仮想世界に実際に大学に建てられている実習施設を構築した。実寸大の施設なので空間移動が可能なVIVE Cosmosでの使用を前提としてコンテンツの制作を行った。ここではプラットフォームにゲームエンジンUnity™を用いた。この建物の新設時に用いられた3D-CADモデルをVR空間にインポートして仮想実験・実習棟(図1左)を制作し、Unity™から無償で提供の既存モデル(アセット)を活用して実習設備等を付加し、実習棟内(図1右)を構築した。仮想空間内には多くのマーカを設置することで、空間内を瞬時

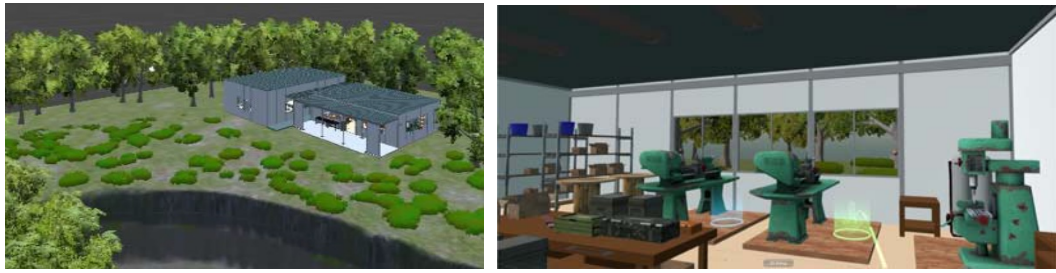


図1 仮想空間の実験・実習棟と実習室内の一部

に移動できる。Unity™を用いたのは開発時に機械系で使用される3D-CADのデータの再利用が容易であることからVR用プラットフォームとして急速に普及していたこと、アセット等無償提供のコンテンツが豊富だったことがある。同棟内には動く機構モデルや持って使える工具(図2)を設置した<sup>3)</sup>。



図2 仮想演習室に設置された動く機構モデルや実習体験用の工具



図3 旋盤実習用の学習教材

制作した環境の中でVR体験をするために必要な設定について述べる。

#### 仮想空間内の移動

は操作者の実際の動きによっても可能だが、実空間の広さと使用する機器のセンサ感知範囲の制限(VIVEでは最大7m×7m)のため数歩程度となる。そのため様々な場所に移動ポイントを設定する。画面内に現れるコントローラで設定した移動ポイントにコントローラのトリガーを引くことで移動できる。インタラクティブな体験のためには配置したモデルへの干渉を可能にする設定を要する。スクリプトを作成し対象となるオブジェクトに関連付けることで、コントローラを用いた干渉が可能になり、トリガーを引くことでオブジェクトに対して操作をおこなえる(図3)。

以上、3D立体視と移動が可能な仮想空間の創造は比較的簡単に実現可能であった。空間の中を自由に移動して、設置されたオブジェクトを立体視により様々な方向から観察するだけでも教材としての魅力は充分にある。現実空間の様々な制約無しで3Dモデルを立体視させ、手に取って観察する程度の展示教材は、3Dモデルがあれば実物を制作する費用も不要で多くの科目で活用できる拡張性の広いものになり得る。

#### (3)360°カメラで実写した実習工場

前述のコンテンツは3D-CADのモデルをVR空間にインポートしたため、実際の工作機械や工具のような現実感に乏しいと指摘された。そこで実物の写真を用いて実習工場の安全教育用コンテンツを制作した。工場内の多くの場所で全天球撮影したものを仮想空間に配置(図4)した。仮想工場内には撮影点を含む多くの移動可能マーカを設置したため、工場内を自由に移動し見学ができる。説明のパネル表示や説明の録音を視聴できる。この機能を提供す

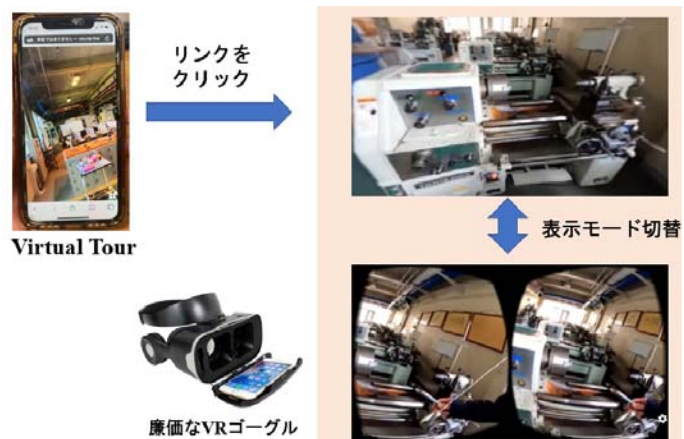


図4 360°カメラを用いた仮想空間の実習工場

るプラットフォームは有料であるがインターネット上で視聴できる。画質は低いが無料で試用できるプラットフォームも試用した。360° 動画撮影画像を YouTube VR の共有クラウドにアップすると、左右の視差を考慮した映像に自動変換してくれる。視聴時にスマートホンを廉価な VR ゴーグル(図4)に装着すると立体的視もできる。さらに 3D-CAD で描いた製図課題の立体形状を、インターネット上でタブレットで視聴したり、スマートホンを廉価な VR ゴーグルに装着して任意の方向から立体視することで学生の理解を助ける教材(図5)も制作した<sup>3)</sup>。

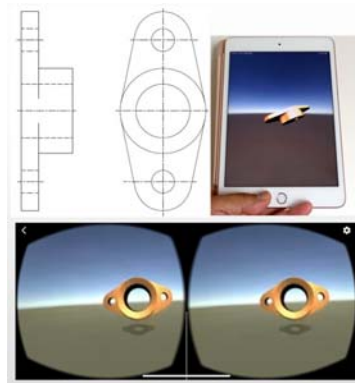
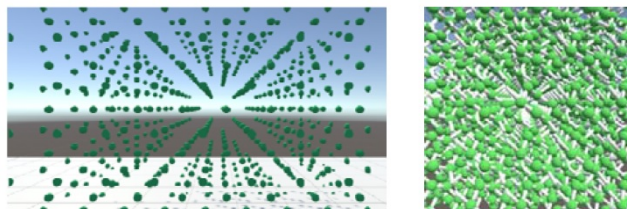


図5 製図のVR補助教材

#### (4) ミクロな世界を視聴できるコンテンツ

材料学の導入として、体心立方格子、面心立方格子、六方最密格子という金属結晶構造を学ぶが、紙面では立体構造の把握は困難である。結晶の配列の3次元格子モデルを制作してVR空間内で視聴するコンテンツを制作した。配列が無限に広がって見えることで、金属内での金属結合の存在を観察可能にした(図6)。さらに、金属結晶構造のすべり系は、すべり面とすべり方向をミラー指数で表記するが、紙面では特定の格子の一例しか示せず、他の面との関係の理解が難しい。そこで体心立方構造の6面のすべり面をVR空間で表現(図7)した。

金属の格子欠陥には刃状転位と螺旋転位があり原子の並びが3次的に複雑な配置のため、VRコンテンツを制作した。学生にとって紙上の図では理解しにくい複雑な構造も3次元の世界で自由に視点を変えて視聴すると直感的に理解できる。そのことが学習効果の実感及び意欲の向上につながるという評価が得られた<sup>4)</sup>。



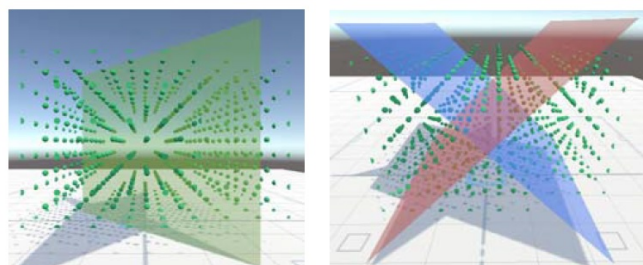
(a) 面心立方構造

(b) ダイヤモンド構造

図6 金属結晶構造の仮想空間への配置

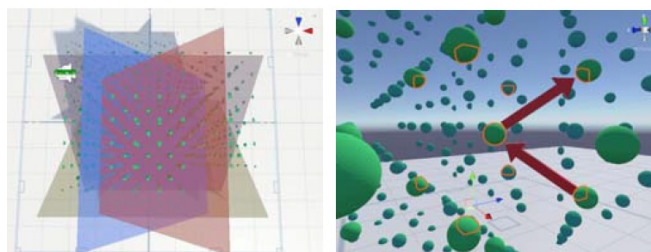
#### (5) シミュレーション結果を3次元的に視聴できるコンテンツ

“はり”は位置によりせん断力と曲げモーメントの大きさが変化する。この材料力学の内容の理解を補助する教材を構築した。はりに任意の荷重を加えると、その荷重を反映したせん断力線図(SFD)、曲げモーメント線図(BMD)をリアルタイムで描画する。さらに組合せ応力の理解を助ける教材として、VR空間内で視聴者が微小ブロックの3軸応力状態を指定しておけば、ブロックをコントローラ操作で切断すると、その断面の応力状態をベクトル表示するコンテンツを開発した。(図8)3軸応力状態は平面で表すことが困難であるが、VR空間で視点変換が可能のため視覚的に理解可能となった<sup>4)</sup>。



(a) 単一面の表示

(b) 2面同時表示



(c) 6面全表示

(d) すべり方法の付加

図7 すべり面と方向の表示

#### (6) 敢えて失敗させる実験のコンテンツ

工学系の実験では、安全上の失敗は学生にはさせられないが、仮想世界では失敗しても安全である。VR空間では、HMDで光や音を視聴させ、コントローラで発生する振動の強弱で手に触感を伝えられる。この機能を用いて、仮想実験室で学生に電気回路の配線実習をさせる教材(図9)を制作している。学生が誤配線をする、端子に閃光を表示して音を出し、警告する。安全のための注意を多く与えなくとも配線作業を体験

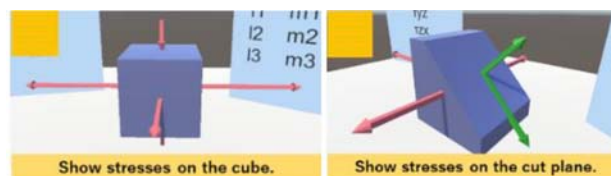


図8 任意面の3軸応力の表示

でき、敢えて失敗させることで知識の定着を図る目的である。

#### (7)まとめ

アクティブ・ラーニング用教材として学生の興味を惹く仮想実験・実習棟を学生と共同開発した。仮想空間に実習・演習棟を作り、様々な教材を設置して学生がHMDで視聴・体験できる仮想実験・演習室を制作した。仮想空間では学生はモデルを実寸大で安全に視聴・体験できる利点が明らかになった。教材をスマートホンやHMDを使用して視聴するコンテンツとして制作し、次のことを明らかにした。

- ①VR教材は学生の興味を惹きつける効果が期待できる遠隔環境下での新しい媒体というだけでなく、従来の授業で併用できる媒体であることが明らかになった。また現実の稼働機械や設備では内部に入って見れない構造や運動を、実際には見られないミクロの世界の構造であっても、仮想世界では学生の自由な行動により、立ち入って構造を見ることができ、設備の使用体験ができる。
- ②360度カメラで実写した実習工場や作業はVRプラットフォームを利用して比較的簡単に仮想実習工場の制作ができる。スマートホンで視聴でき、学生自身の使用する工場内の実写のため臨場感が感じられ、安全教育に適している。
- ③3D-CADデータをVRコンテンツに変換してHMDを用いて視聴する方法は、没入感が得られ安全に機械構造を学習できる。
- ④制作したコンテンツはインターネット上で随時利用できる教材としたかったが、現在普及している通信速度に問題がある。またアクティブ・ラーニング用として授業で用いるには仮想実習・演習棟に教員、学生が共に集合して授業ができる環境(メタバースとして利用事例がある)が期待される。



図9 電気回路実習

VRを体験したことのない学生や地域住民への紹介のため、学生提案で仮想ローラーコースタを製作した。3本のエアシリンダで椅子を支える構造で、空気圧で椅子の角度を変化させられる構造である。遊園地のローラーコースタ上から360°カメラで撮影した動画に合わせて椅子の角度を変化させるプログラムを組んでいる(図10)。また、2台のカメラで会場を撮影し、左のカメラ映像をアナグリフで立体視できるシステムも組んだ。これを2つの市の主催する市民大学講座で立体視のしくみについての講演で体験してもらうなどVRの普及活動を行った。いずれも聴講者の興味を惹いたことから、本研究で開発したVR教材も学生のアクティブ・ラーニング用教材として十分効果を果たすものとして、将来への普及が期待できる。



図10 仮想ローラーコースタ

これからの活用が予想される仮想世界の教材を利用した学習と、VR技術を利用した教育への導入を考慮した教材開発を試みた。学習環境構築への取り組みの一環として開発してきたが、偶然にも2020年からの新型コロナウイルス感染防止のために強いられた遠隔授業の対応とIT技術の急速な社会浸透や教育機関への導入によって、様々な形態の新たな教材が必要となっている。そこにVR技術による教材を提案する。制作した各種の教材はアクティブ・ラーニング教材の一つとして有効活用できる教材であることを確認した。誰もが安価で試用できる高速通信環境やVRやメタバースのプラットフォームが普及すればVR教材はますます教育の有効な形態の一つとなる。それは、これからの教育の場を考えると、学生が差別なく自由な学習環境として必要であると思われる。

#### <引用文献>

- 1) 塚本公秀, 大淵慶史, 坂本英俊, 楽器製作を通じた創造性教育の試み, 工学教育, Vol157-03, pp. 28-33, (2009)
- 2) K. Tsukamoto, T. Ueno, K. Yamamoto, Y. Ohbuchi and H. Sakamoto, Developing Teaching Materials for Practical Work by Student Dismantling and Assembly using an All Terrain Vehicle, Journal of Engineering Education Research, Vol.13-2, pp. 38-42, (2010)
- 3) 塚本公秀, 大淵慶史, 原慎真也, アクティブ・ラーニング教材開発へのVR技術の導入, 工学教育, Vol171-02(2023)
- 4) 大淵慶史, 塚本公秀, 安川 諒, 綿崎翔治, 川原 稜, 3D 立体視を活用した効果的な学習教材の開発, 工学教育, Vol171-04(2023)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 塚本 公秀, 大淵 慶史, 原楨 真也
2. 発表標題 アクティブ・ラーニング用遠隔教材の学生との共同開発
3. 学会等名 2021年度工学教育研究講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大淵 慶史, 塚本 公秀, 安川 諒
2. 発表標題 VR 技術を用いた実習科目教育教材の開発 - コンテンツ試作とユーザーインターフェイス設計 -
3. 学会等名 2021年度工学教育研究講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shoji Watasaki, Yoshifumi Ohbuchi, Kimihide Tsukamoto
2. 発表標題 Development of VR teaching materials in mechanical engineering field using 3D models
3. 学会等名 16th Int. Student Conference on Advanced Science and Technology
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryota Kawahara, Yoshifumi Ohbuchi, Kimihide Tsukamoto
2. 発表標題 Design of Mechanical Engineering Teaching Material using VR for Distance Classes
3. 学会等名 16th Int. Student Conference on Advanced Science and Technology
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大野 孝輔, 杉本 光, 塚本 公秀, 原楨 真也, 大淵 慶史
2. 発表標題 XR技術を活用した仮想実験室と動く機構モデルの構築
3. 学会等名 日本機械学会九州学生会第53回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川原 稜大, 大淵 慶史, 塚本 公秀
2. 発表標題 立体視技術を活用した機械工学の効果的学習教材の開発
3. 学会等名 日本機械学会九州学生会第53回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上野悠人, 古賀広大, 塚本 公秀, 原楨 真也
2. 発表標題 遠隔体験を可能にする仮想実習工場の製作
3. 学会等名 日本機械学会九州学生会第53回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 綿崎 翔治, 大淵 慶史, 塚本 公秀
2. 発表標題 3Dモデリングツールを用いた機械工学学生のためのVR教材の開発
3. 学会等名 日本機械学会九州支部第75期総会・講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 塚本 公秀, 大淵 慶
2. 発表標題 アクティブ・ラーニング用仮想教材の学生との共同開
3. 学会等名 日本工学教育協会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大淵 慶史, 塚本 公秀, 安川 諒
2. 発表標題 VR 技術を用いた効果的な教育教材の開発 - 実習環境の構築とコンテンツの検討 -
3. 学会等名 日本工学教育協会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryo Yasukawa, Yoshifumi Oobuchi, Kimihide Tsukamoto
2. 発表標題 Creation of VR teaching materials using 360-degree video and its UI design
3. 学会等名 Int. Student Conference on Advanced Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安川 諒, 大淵慶史, 塚本 公
2. 発表標題 VR/AR 技術を用いた機械工学実習科目の遠隔教育教材開
3. 学会等名 日本機械学会九州支部
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 大淵 慶史, 塚本 公秀, 安川 諒
2. 発表標題 VR技術を用いた教育教材の実習環境開発 - ;実習環境の構築 -
3. 学会等名 令和1年度工学・工学教育研究講演会講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塚本 公秀, 大淵 慶史, 安川 諒
2. 発表標題 専門科目用アクティブ・ラーニング仮想教材の学生視点による開発
3. 学会等名 日本機械学会九州支部沖縄講演会講演論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryo Yasukawa, Yoshifumi Oobuchi, Kimihide Tsukamoto and Hidetoshi Sakamoto
2. 発表標題 Creation of virtual spaces for VR teaching materials and settings for experience
3. 学会等名 14th Int. Student Conference on Advanced Science and Technology, (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究 分担 者	大淵 慶史  (Oobuchi Yoshifumi)  (10176993)	熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・准教授   (17401)	

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
---------	---------