

建設機械の遠隔操作シミュレータ

平野 享* 本山 昇**
 Toru Hirano Sho Motoyama
 高原 裕介** 田口 毅**
 Yusuke Takahara Takeshi Taguchi

1. はじめに

山岳トンネルの安全と労働環境の抜本的な改善のために切羽作業の無人化を目指す。しかしその切羽は作業をとりまく与条件が幅広く、かつ人為的に一定とすることも難しいため、ロボットによる無人化は困難な課題である。できる要素から建設機械の自動化/自律化を達成しつつ、足りない隙間を人で補うことが現実的である。

隙間を補う人が機械と一緒に臨場しては無人化できないため、遠隔操作を組合わる。現在の技術であれば、少しの操作応答遅延と二次元モニター頼りの不自由さを除き、実績と実用性ある遠隔操作システムを用意することができる。

期待される遠隔操作を広く展開するにあたり、既存オペレータの移行と遠隔操作から入る新人とに十分な練習の機会を与え、且つ練習は第三者に安全で失敗が許される場所で行う必要がある。この要求を実物で提供するためには色々な制約がある。そこで代替となる仮想空間で提供できるデジタルシミュレータの実装に取り組んだ。

2. 本シミュレータの構成

本シミュレータはUnityプラットフォームで開発した。成果物は仮想空間に模擬現場と模擬機械を再現するWindowsOSソフトウェアであり、GPU（画像処理装置）を備えたゲーミングPCと呼ばれる高性能PCで実行した。VRゴーグルと操作デバイス¹⁾は既存のゲーム用のもの（図一1）、または実際の遠隔操作席の何れかを選択することができる。シミュレーションのシナリオは、生成した遠隔カメラ画像を頼りに、模擬機械を自由操作できるほか、模擬機械を使って時間制限内に課題とする動作の完了を求められる内容を加えた（表一1）。具体的な課題は、ブレイカーで切羽のあたりをはつる作業と、ホイールローダで切羽の掘削ずりを後方のずりピンに輸送する作業の二種類である（図一2）。

本シミュレータは、教習目的を実搭乗運転とせず遠隔操作に定めたことが新しい²⁾。模擬するものは搭乗運転

* 技術研究所

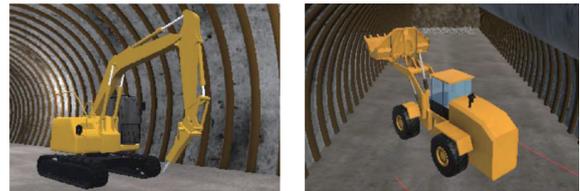
**技術研究所先端技術グループ



図一1 本シミュレータ用ゲーミングPCほかデバイス

表一1 遠隔操作シミュレータの機能

目的	モニター画面だけの目視、操作反応の遅延などの、実搭乗のリアリティが欠損した環境に慣れるための練習環境を提供
内容	①自由操作、②時間制限内に課題とする動作を完了できるかの試験
実装	シミュレータソフトをインストールしたゲーミングPC1台を、ゲームコントローラとVRゴーグル、又は、実際の遠隔操作席のどちらかで操作する
付帯機能	①遠隔カメラ位置の変更 ②操作レコーダーとリプレイデモ



図一2 シミュレータに登場する建設機械

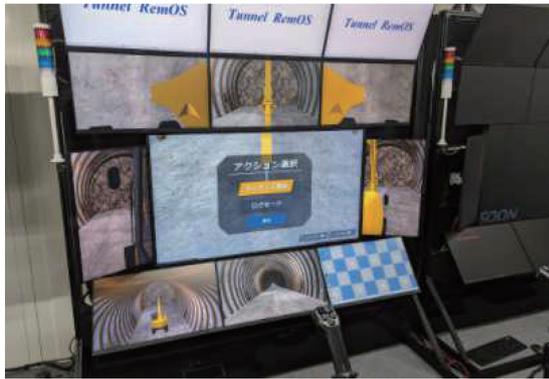


図一3 VRゴーグルで臨む模擬遠隔操作室

席ではなく、遠隔カメラモニターだけが並ぶ遠隔操作室の視界である（図一3）。

3. 教習シミュレータとしての活用

本シミュレータは、目的のとおり遠隔操作の教習に活用できる。利用効果は、現在既往の遠隔操作オペレータからの評価しか受けておらず、本来の目的の教習生（遠隔操作の未経験者、又は、機械取扱いの初心者）からの評価を待つ。特筆として、既往の遠隔操作オペレータが



図一四 実際の遠隔操作席でシミュレータを使用

本シミュレータを操作すると、シミュレータ初心者でも習熟していることが確認された。操作スキルが、実物と教習シミュレータとで相似できるものと考えられる。

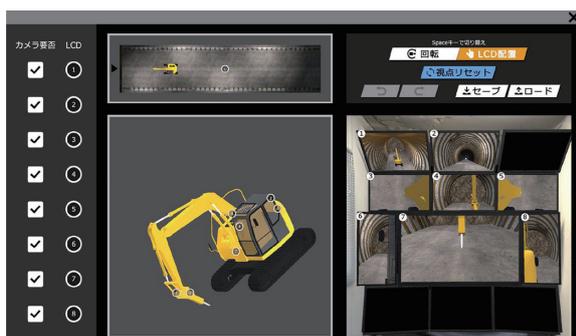
教習は、VRゴーグル等に加え、遠隔操作を導入した現場に設置される実際の遠隔操作席を用いることが出来る。操作環境が本物なので、教習シミュレータと実環境との乖離はVRゴーグルより少ない(図一四)。

あえて実装にVRゴーグル等を含めた理由は、将来、既往の互換性に縛られずゲームコントローラーで操作できるようになり、遠隔操作に携わる者のダイバーシティが得られ、就業者の裾野が広がるという効果を期待したためである。ゲーミングPC、ゲームコントローラ、そしてVRゴーグルさえあれば、どこでも操作可能であるという利点を生かし、展示会やインターンシップ、教育課程などを通じて本シミュレータを頒布することなどで、建設業への就業者醸成に結び付くと期待する。

4. 付帯機能

① 遠隔カメラ位置の変更機能

本シミュレータは、模擬空間内の任意点の遠隔カメラ画像が生成できる。そこで遠隔カメラの位置変更が可能な機能を加えた(図一五)。これまで遠隔操作の最適なカメラ位置は試行錯誤で決めていたが、一部は高所作業となるため、カメラ位置の柔軟な変更が難しかった。本シミュレータでは簡単に何度もカメラ位置の変更が可能である。



図一五 遠隔カメラ位置と画面配置の変更

② 操作レコーダーとリプレイデモ機能

シミュレーションのシナリオで、模擬機械を使って時間制限内に課題とする動作をする際に、動作記録を残してリプレイデモを可能とした。この機能を用いて上級者の操作を模範に示すことができる。

5. シミュレータ教習から機械学習への応用

米国には路面を軌条なし走行する車両のドライバーレス運用の実証として、機械学習を応用したタクシー運転がある³⁾。建設機械においても無人運転を目的とする機械学習の実装が大きく期待される⁴⁾。

無人運転のための機械学習で具体的実装手順はノウハウとされ不明なところが多いが、開発プラットフォームを提供するベンダーによると、学習初期に実物のターゲットに代えてシミュレータを活用することで、実装の工程短縮に効果的であるという⁵⁾。本開発の遠隔操作シミュレータも遠隔操作を目的とした人工知能の機械学習に活用したい。人の教習と同様に人工知能の教習にも使うということである。本シミュレータが模擬するのは遠隔カメラ画像であることを踏まえると、その画像を通じて判別可能である遠隔機械の最良変化(効率よく危険なく位置や姿勢が変わること)を試行錯誤する強化学習の実装が実装設計の一つの候補である⁶⁾。車載センサーを用いずに遠隔カメラ画像だけを学習の情報源とすることは、学習後に対応可能な判断が画像監視で可能な範囲に留まる欠点がある。しかし、情報が画像という単一の媒体に集約されているため扱いやすく、全体としての実装の軽量化が期待される。現在、我々はこの課題に取り組んでいる。

参考文献

- 1) Extreme 3D Pro Joystick - Logitech Gaming: <https://www.logitechg.com/en-us/products/space/extreme-3d-pro-joystick>., Meta Quest 3 128 GB: <https://www.meta.com/jp/quest/quest-3/>.
- 2) 平野享, 高原裕介, 辻岡高志: 建設機械の遠隔運転シミュレータ, 令和6年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集, <https://jcmanet.or.jp/symposium-ronbun-top/>.
- 3) Waymo-Self-Driving Cars-Autonomous Vehicles: <https://waymo.com/>.
- 4) 建設機械施工の自動化・遠隔化技術: https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/sosei_constplan_tk_000049.html.
- 5) MATLAB Simulink RoadRunner による自動運転: <https://jp.mathworks.com/solutions/automated-driving.html>.
- 6) MATLAB および Simulink による強化学習: <https://jp.mathworks.com/campaigns/offers/reinforcement-learning-with-matlab-ebook.html>.