

屋外作業機械シミュレータにおける視界の現実感が 操作者に与える影響の基礎的検討

山野辺 健太^{†1,a)} 横田 和哉^{†1} 高橋 憲吾^{†2} 阿部 雅二郎^{†2}

概要：クローラクレーン等の屋外作業機械では、転倒・過挙動等の危険事象を未然に防止するため、効果的な安全システムの構築が求められる。そのための設計開発環境として、VR 技術を用いた荷役等作業シミュレータの活用は有効と考えられる。本研究では、建設現場に存在する資材の追加や、光と影の描写の高度化を行い、視界の現実感の向上を目指す。さらに、荷役作業シミュレーションを行い、視覚に関する生体特性を測定することで、VR 空間内の視界の現実感が機械操作者の疲労や操作特性に及ぼす影響を考察する。

1. 緒言

クローラクレーンのような屋外作業機械は、プラントの建設工事や橋梁建設工事など多くの工事現場で使用されている。一方で、転倒、つり荷の振り回りおよび機体破損などの危険事象から発生する事故が問題となることがある。大型な機械であるため、事故発生時には周辺への被害が甚大になることがある。このような事故を未然に防止する新たな対策が必要である。

屋外作業機械の事故は、突風や軟弱地など「周辺環境の変化に伴う機体の不安定化」、機械操作者の急操作など「人による認知・判断・操作ミス」、つり荷ワイヤロープの切断やジブの破損など「機体構成部品の破損とそれに伴う機体の不安定化」などに起因する。既存の安全装置、人の認知・判断・操作に依存し事故を防止することは容易ではない。

このような背景から、人と屋外作業機械が協調し、突風や軟弱地などの多様かつ複雑な作業環境下における安全性を確保し、つり荷の振り回り等の過挙動や転倒等を防止する、新しい安全システムの構築が求められている。そのようなシステムの開発環境として、VR 技術を用いたシミュレータの活用は有効と考えられる。しかし、図 1 に示す、著者らが開発した既存のシミュレータでは^[1]、仮想空間上の光や影の表現が乏しく、資材等のオブジェクトも簡易的なため、機械操作者へ提供する視界の現実感という観点では現実の作業現場と隔たりがある。

本研究では視界の現実感を向上させた新しいシミュレータを開発し、視界の現実感が操作者に与える影響を定量的に評価するための基盤の構築を目指す。

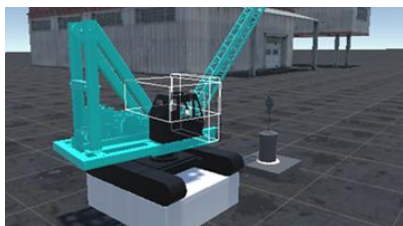
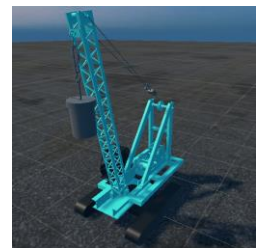


図 1 既存の屋外作業機械シミュレータ^[1]

2. 既存シミュレータおよび本研究の目的

2.1 既存の実験解析用シミュレータ

我々はこれまでに Unity を用いた屋外作業機械シミュレータを構築している^[1]。図 2(a)に示す実機を模擬した機械操作室内で VR-HMD を装着した人（操作者）がレバーを操作することで、図 2(b)に示す仮想空間上のクレーンモデルを操作可能である。図 2(b)に示すように、光や影の表現は十分ではなく、現実の作業現場とは視覚的な隔たりが存在する。



(a) 実機を模擬した操作室 (b) 仮想空間上のクレーン
図 2 既存のシミュレータ：操作室と仮想空間

2.2 本研究の目的

上述の問題に対し、本研究では高機能ゲームエンジンである Unreal Engine 5 を用いて、建設現場に存在する資材の追加や、光と影の描写の高度化を行うことで、視界の現実感の向上を目指す。さらに、荷役作業シミュレーションを行い、視覚に関する生体特性を測定することで、視界の現実感が操作者の疲労や操作特性に及ぼす影響を考察する。

3. 視界の現実感を向上させたシミュレータ

3.1 作業現場（フィールド）モデルの作成

Unreal Engine 5 にて、建設現場に存在する資材等を配置し、時間、天候条件などを変更したフィールドを作成した。レンダリング手法として、現実世界での光の反射をシミュレーションするレイトレーシング法を採用し、現実に即した光の表現を実現した。図 3 に作成したフィールドモデルの例を示す。

†1 長岡技術科学大学 機械系
a) s213093@stn.nagaokaut.ac.jp
†2 長岡技術科学大学 システム安全系

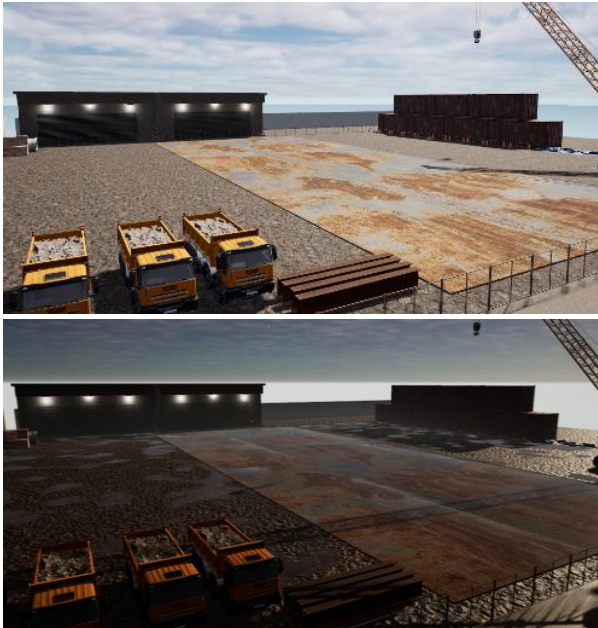


図3 フィールドの例（上：晴天、下：雨天）

3.2 つり荷振れシミュレーション

つり荷振れのシミュレーションについては、ゲーム用に開発された Unreal Engine 5 の物理エンジンは使用せず、MATLAB Simscape Multibody を用いた高精度なマルチボディ動力学解析を実施する。Unreal Engine 5 と MATLAB 間の通信には TCP 接続を用い、操縦者の操作に対してリアルタイムにつり荷挙動の解析を行う。現在までに、荷役作業を念頭にした単振り子の解析モデルを実装しており、今後はより詳細なワイヤロープ解析モデルを実装する。

3.3 操作室からの視界

図4に操作室からの視界の例を示す。図2に示した既存のシミュレータでは不可能であった、現実に即した光や雲の視覚的表現が可能となった。

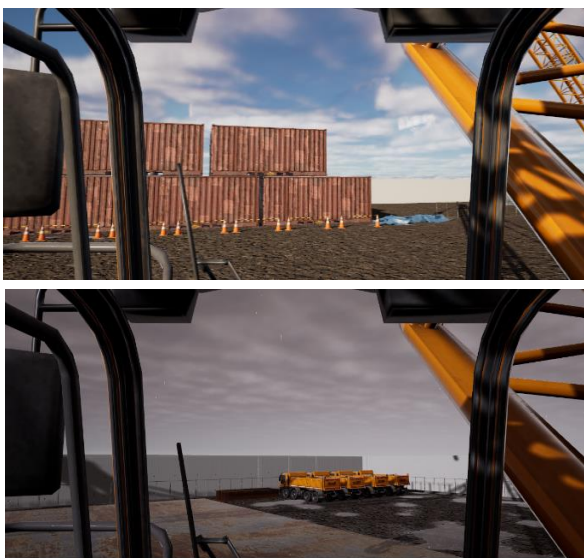


図4 操作室からの視界の例（上：晴天、下：雨天）

4. システムの有効性の評価

今後は実際の状況により近い荷役作業シミュレーションを行い、視線計測により注視時間や疲労度などを測定する。荷役作業シミュレータの VR-HMD である Varjo Aero^[2]は視線計測機能を備えており、視線計測データから表1に示す評価項目を算出する機能を実装予定である。

視界の現実感が高い場合と低い場合を比較し、その違いがシミュレータ操作者に与える影響を解析する。また、図3に示したような天候、時間帯による視界の変化が操作者に与える影響も調べ、表1の視線に関する評価項目と、アンケート項目から定量的に考察する。

表1 視線に関する評価項目および内容

評価項目	内容
ヒートマップ	操作者の注視位置と注視時間のマップ
ゲイズマップ	操作者の視線の順序のマップ
瞳孔径 [mm]	人の興奮/リラクスの評価指標[3]
瞬目 [回/min]	疲労度の評価指標[4]
ピークサッケード速度 [°/s]	情報認知速度の評価指標[5]

5. 結言

Unreal Engine 5 を使用して、資材等のオブジェクトの有無や、詳細な光と影の描写の有無により、視界の現実感が異なるフィールドモデルを作成した。つり荷振れ等の物理挙動のシミュレーションと連携可能な、総合的に現実感を高めたシミュレータを構築した。

今後は、シミュレータ操作者の視覚生体特性情報を取得するための視線計測プログラムを荷役作業シミュレータに実装する。また、実際に荷役作業シミュレーションを行い、視界の現実感がシミュレータ操作者に与える影響を評価し、既存のシミュレータと比較考察する。さらに、シミュレータを発展させ、風や地盤等の複雑環境下での作業も可能とし、これら環境下にて効果的な安全情報伝達等のシステムの適切な開発環境を実現することを目指す。

参考文献

- [1] 阿部雅二郎, 佐藤瑞紀, 仲川力, 不整地作業機械の安全設計・制御のためのMRシミュレータの基盤開発, 日本機械学会北陸信越支部 第57期総会・講演会, 2020.
- [2] Varjo, “Varjo Aero”, <https://varjo.jp/varjo-aero/>, 2023年12月16日閲覧.
- [3] 和泉慎太郎 他, 生体情報センシングと人の状態推定への応用, 技術情報協会, 2020.
- [4] Antonio Maffei, Alessandro Angrilli, Spontaneous eye blink rate: An index of dopaminergic component of sustained attention and fatigue, International Journal of Psychophysiology, Vol.181, 2018.
- [5] Valentina Bachurina, Marie Arsalidou, Multiple levels of mental attentional demand modulate peak saccade velocity and blink rate, Heliyon, Vol.8(1), 2022.