

ヘッドアップディスプレイを用いた不整地作業機械の安全情報伝達システム

横田 和哉^{†1,a)} 進藤 有貴^{†1} 神場 蕉伍^{†1} 今井 博英^{†1} 高橋 憲吾^{†2} 阿部 雅二郎^{†2}

概要: クローラクレーン等の不整地作業機械では、転倒・過挙動等を未然に防止するため、機械の操作者への安全情報の伝達が重要である。本研究では、操作室前方正面に情報提示するヘッドアップディスプレイ(HUD)により、安全情報を視覚提示するシステムを検討する。Unityを用いて構築されたクレーン作業シミュレータのVR空間内にHUDを構築する。同シミュレータで荷役作業シミュレーションを行い、操作者の精神的負担、視覚的注意の配分、快適性を評価するための視線計測機能をシミュレータに実装した。

1. はじめに

図1に示すクローラクレーンのような不整地作業機械は、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、つり荷の振れ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大きくなる可能性がある。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。

不整地作業機械の事故は、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」、安全装置の作動を不快に感じた機械操作者等が同装置を解除してしまう「安全装置の無効化」、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・操作に依存し予防することは容易ではない。

このような背景から、人と近年発達著しいAIの長所を融合させ、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、つり荷の振れ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にて、機械の安全状態を操作者が適切に把握することは極めて重要である。既存の例えば、図2に一例を示すクローラクレーンでは、荷重の状態等の情報の表示部が運転室前方下部に備え付けられている。新しい安全システムでは、風や地盤、つり荷の振れ回り等の情報も含めて効果的に安全情報を伝達することは安全性向上に有益と考えられる。

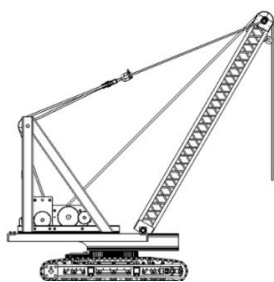
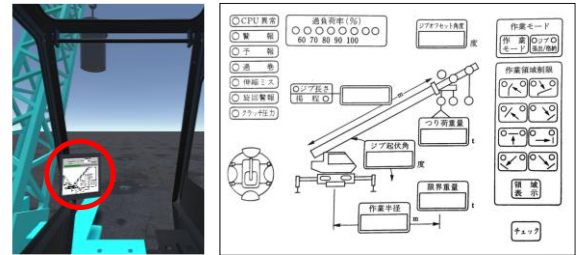


図1 クローラクレーン



(a) 運転室内の表示部位置

(b) 表示部の例[1]

図2 既存の安全情報伝達システムの例

2. 本研究の目的

2.1 既存の安全情報伝達システム

本報で対象機械としているクローラクレーンは、移動式クレーン構造規格によって装備と機能が規定されている。クレーン操作室内には機械の作業や負荷の情報を示す表示部があり、ジブ長さ、ジブ起伏角度、定格総荷重等のクレーンの状態を表示し操作者に伝達している^[2]。

表示機器は、図2(a)に示すように操作室の前方左下部に設置されることが多く、限られた表示部に図2(b)に示すように多数の情報を提示している。操作者は作業先(つり荷や障害物など)と表示部(モニタ)を同時に注視することは難しく、危険に対する認知の遅れや注視先の散漫、情報の見落としや誤認の可能性がある。

2.2 本研究の目的

上述の問題に対し、本研究では、自動車などで活用されているヘッドアップディスプレイ(HUD)に着目し、操作者の視線近傍に情報を提示するシステムを構築する。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、HUDが機械操作者の認知能力や快適性に及ぼす影響を考察する。

3. HUDによる安全情報伝達システム

3.1 MR (Mixed Reality) 荷役作業シミュレータ

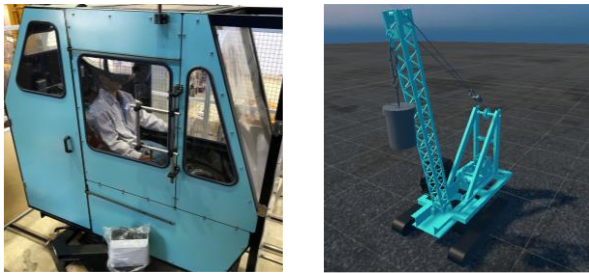
我々はこれまでにUnityを用いた荷役作業シミュレータ

^{†1} 長岡技術科学大学 機械系

a) yokokazu@vos.nagaokaut.ac.jp

^{†2} 長岡技術科学大学 システム安全系

を構築している^[3]。図 3(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(被験者)がレバーを操作することで、図 3(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。



(a) 実機を模擬した操作室 (b) 仮想空間上のクレーン
図 3 MR 荷役作業シミュレータ

3.2 HUD を用いた安全情報表示

上述の荷役作業シミュレータにて、操作室の前方正面の位置に、HUD を実装した。図 4 に操作室内の表示の状況を、図 5 に表示項目の詳細をそれぞれ示す。

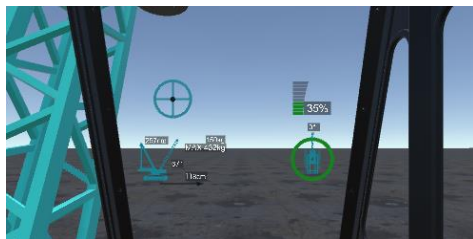


図 4 実装した HUD

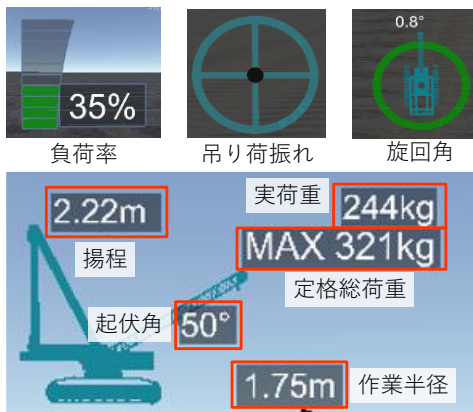


図 5 表示項目の詳細

4. システムの有効性の評価

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ことで、構築した安全情報伝達システムの有効性を評価する。図 2(a)に示したような従来の安全情報伝達装置との比較考察も行う。

荷役作業シミュレータの VR-HMD である VIVE Pro Eye

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した。図 6 に実際の視線計測より得られたヒートマップの例を示す。

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	操縦者の注視位置と注視時間のマップ
ゲイズマップ	操縦者の視線の順序のマップ
瞳孔径 [mm]	人の興奮/リラクセスの評価指標[4]
瞬目 [回/min]	疲労度の評価指標[5]
ピークサッケード速度 [°/s]	情報認知速度の評価指標[6]

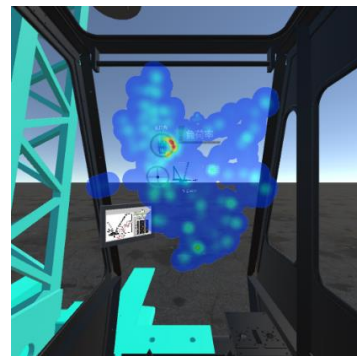


図 6 視線計測により得られたヒートマップ

5. おわりに

危険に対する認知の遅れや注視先の散漫、情報の見落としの防止を目指して、HUD を用いて機械操作者の視線近傍に安全情報を提示するシステムを構築した。また、その有効性を評価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した。

今後は実際に荷役作業シミュレーションを行い、HUD の有効性評価と、従来の伝達装置との比較考察を行う。考察をもとに安全情報として表示すべき内容の選択・抽出や、表示の位置・大きさ・形態の検討も行い、風や地盤等の複雑環境下での作業にて効果的な安全情報伝達システムの実現を目指す。

- [1] 伊藤廣, 移動式クレーンの知識, 鹿島出版会, 1994.
- [2] 河西啓至, 阿部雅二郎, クローラ式作業機械における転倒安全状態の監視及び伝達システムに関する基礎実験解析, Dynamics & Design Conference, 2019.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Valentina Bachurina, Marie Arsalidou, Multiple levels of mental attentional demand modulate peak saccade velocity and blink rate, Heliyon, Vol.8(1), 2022.