

ジブクレーンの遠隔運転において必要となるカメラの性能評価

伊藤 紘一[†] 遠藤 慶一[‡]
愛媛大学工学部情報工学科[†]

黒田 久泰[‡] 小林 真也[‡]
愛媛大学大学院理工学研究科[‡]

1. はじめに

四国の重要な地場産業である造船業において、ジブクレーンという大型産業機械が広く利用されている。我々はジブクレーン操縦をより快適で安全な作業とすることを目的に、クレーン上部からの高品質な映像と音響に加え、死角の映像を提供することで、クレーンの遠隔運転の実現を目指している [1]。しかし現在販売されている産業用カメラが、遠隔運転でクレーン上部から地上を撮影する際に使用するカメラとしての性能を満たしているか不明である。そこで本研究では実際の作業現場で考えられる様々な状況下において、カメラで撮影した作業員のヘルメットの色や分離の見え方を評価することで、カメラが遠隔運転に必要な性能を満たしているか明らかにする。

2. 研究目的・目標

2.1. 目的

本研究の目的は、作業員の安全と労働環境改善を実現するジブクレーンの遠隔運転において、現在販売されている産業用カメラが、遠隔運転で必要となる性能を満たしているか明らかにすることである。

2.2. 目標

実際の現場で想定されるカメラと作業員の距離や撮影時間帯、映像内の輝度差などの条件下で撮影した映像から、作業員のヘルメットの色や分離の見え方を評価することを目標とする。

またクレーン上部に設置し、運転台からの映像を提供するカメラに求められる性能は以下の通りである。本研究ではこれらの要求項目を満たす場合のカメラ性能、及び条件を明らかにする。

- (要求項目 1) 撮影した映像からすべての作業員の存在を認識できる。
- (要求項目 2) 撮影した映像から作業員が着用しているヘルメットの色を正しく識別できる。

3. 検証方法

3.1. 概要

実際のクレーン上部から地上にいる作業員を撮影したような映像を、模擬的に撮影する。その後撮影した映像から、作業員が着用したヘルメットの視認性を評価することで、2.2 に示す要求項目を満たすカメラの性能、及び使用可能条件を検証する。



図 1: 撮影結果一例 (4K, 100m 地点)

3.2. 撮影方法

地上約 30m の高さの愛媛大学工学部 5 号館屋上から、実際の現場で利用されているヘルメットと作業着を着用した、地上にいる作業員役の学生をカメラで撮影する。撮影を行う際の条件は以下の通りである。

- 撮影距離：100m, 90m, 80m, 70m, 60m
- 天候：快晴, 曇り
- カメラ解像度：4K, FHD
- カメラズーム：テレ端
- ヘルメットの色：白, 黄, クリーム, 橙, 青, 緑
- 作業員役の人数：一人もしくは二人

撮影は快晴と曇りの日で行い、一日の中で最も太陽高度が高く、照度が高い南中時刻と、太陽高度が下がり、照度が低下した 15 時に撮影を行った。また作業員役の人数が二人の場合、着用するヘルメットの色は、実験全体を通してすべての色の組み合わせが同じ数出現するようにした。撮影した画像の一例を図 1 に示す。

3.3. 評価方法

撮影したそれぞれの距離ごとの映像をディスプレイにランダムに映し、大学生 12 名を対象に映像評価を行った。その際 2.2 で示した要求項目を検証するため、以下の二つの評価項目をそれぞれ設定した。

- (評価項目 1) 作業員役は何人いたか。
- (評価項目 2) 作業員役が着用していたヘルメットは何色であったか。

評価の際の条件を以下に示す。

- 映像視認距離：1.13m, 1.75m
- ディスプレイサイズ：31.5 インチ
- 映像表示時間：5 秒

視認距離 1.13m については、映像をあたかも実際に見ているかのように再現するため、撮影に用いたカメラの画角とディスプレイを見る視聴角度が等しくなるよう視聴距離を設定した場合である。また 1.75m につ

表 1: 撮影に用いたカメラの画素分解能 (cm²/pix)

カメラと作業員の距離 (m)	4K	FHD
60	0.97	3.86
70	1.31	5.25
80	1.72	6.86
90	2.17	8.68
100	2.68	10.72

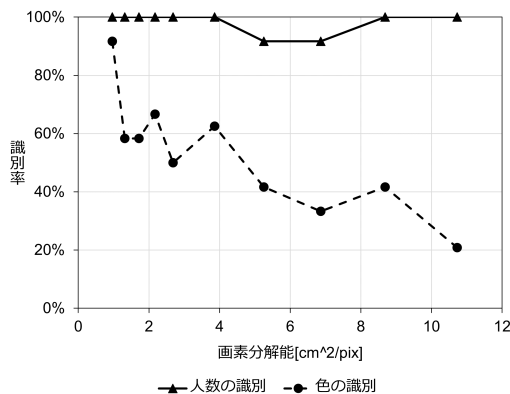


図 2: 画素分解能ごとの正答率の変動

いては、実際のクレーン運転室内で、13 インチディスプレイを視認距離 70cm で見て操縦すると想定し、13 インチディスプレイを視認距離 70cm で見た時のディスプレイの見かけの大きさと、31.5 インチディスプレイの見かけの大きさが等しくなるように視認距離を設定した場合である。

4. 検証結果

4.1. 画素分解能による正答率の変動

今回撮影に用いたカメラの画素分解能は表 1 の通りである。また画素分解能ごとの正答率の変動を図 2 に示す。グラフは視認距離 1.13m、白飛び無しの場合のものである。図 2 より、画素分解能の増減に関わらず、人数の識別は可能であるが、画素分解能が増加するにつれ色の識別は困難になることが分かる。また色の識別については、画素分解能 3.86(cm²/pix) 以上の場合、識別率が 60% を下回っていることから、ヘルメットの色を正確に視認するためには 4K カメラである必要があると言える。

4.2. 映像内の白飛びの有無による正答率の違い

撮影した映像から、快晴の日は、カメラのダイナミックレンジを超えた明るさの範囲を撮影した場合に起こる、「白飛び」や「黒つぶれ」といった階調が失われる現象が確認された。白飛び有りの場合と無しの場合の、人数と色の識別率を図 3 に示す。図 3 より、白飛びしている場合は、人数・色の識別共に、白飛びしていない場合と比較して、視認性が低下することがわかる。さらに白飛びありの場合、人数と色の識別ともに白飛び無しの場合と比べ、識別率にばらつきが生じることが分かる。特に FHD カメラの場合、人数の識別率が 60% になる場合もあるため、カメラを実際に使用する際は、画素分解能が 6.86(cm²/pix) 以下の条件下、もしくは白飛びが発生しない条件下 (映像内の日向と日陰の照度

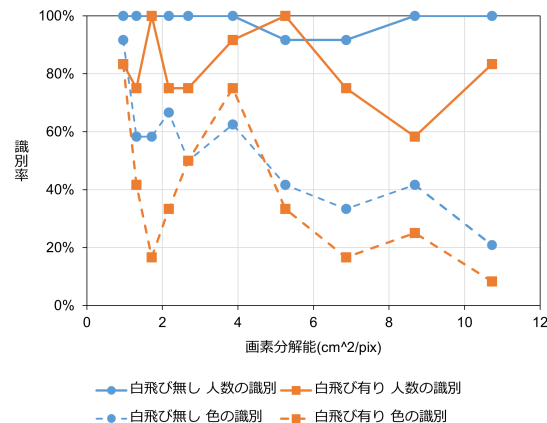


図 3: 白飛びの有無による視認性への影響

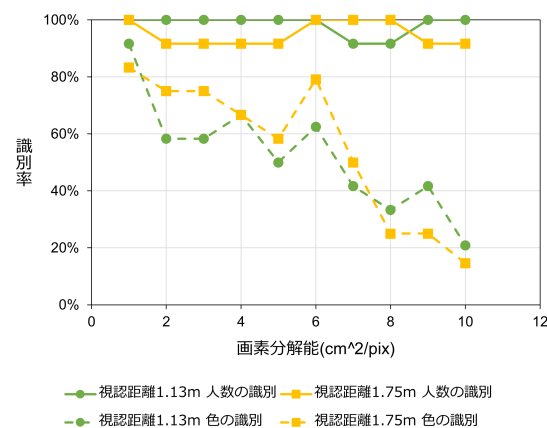


図 4: 視認距離の視認性への影響

差が 11268(lx) 以下) での利用が求められる。

4.3. 映像視認距離による正答率の違い

各視認距離ごとの、人数と色の識別率を図 4 に示す。図 4 より、人数と色の識別ともに視認距離の違いによる識別率に大きな差は見られなかった。視認距離の違いによる識別率の差は最大でも、人数の識別で 10%、色の識別で 20% であった。このことから今回検証した視認距離 (1.13m と 1.75m) では、カメラの解像度や、撮影距離に関わらず、視認性に大きな違いはないといえる。

5. 終わりに

本研究では、現在市販されている産業用カメラを用いて撮影した映像から、ヘルメットの見え方を評価することで、要求項目を満たす場合のカメラの性能、及びカメラの使用可能条件を検証した。今後は、今回の検証で得られた結果のさらなる考察を行っていく。

参考文献

- [1] 小林真也, <https://5g-contest.jp/contestpdf/shikoku/shikoku.pdf>. 「5G の特性を活かした高技能行員の労働環境改善・労働安全確保・技術伝承の実現」. (参照: 2022 年 1 月 6 日)