

HMD を用いた臨場型遠隔映像システムの検証実験

大成建設 技術センター 正会員 ○木下勇人，加藤崇，西田与志雄
九州支店 正会員 高橋 幸久

1. はじめに

筆者らは，重機遠隔操縦における映像システムとして，ヘッドマウントディスプレイ（以下 HMD）を用いて安全な場所にいながら実際に搭乗している感覚で重機を操縦できる臨場型遠隔映像システムを開発した（参考 1）．本稿では，比較実験の結果について報告する．

2. 比較実験

2－1. 実験概要

本システムと従来システムとで重機遠隔操縦における作業性について比較実験を実施した．本システムは，重機車載の魚眼カメラ 2 台の映像を HMD に表示して重機を遠隔操縦する手法（写真 1）である．一方，従来システムは，重機車載カメラ 3 台と実験ヤードを俯瞰できる 2 箇所を設置した俯瞰カメラ 2 台の計 5 台のカメラ映像を複数のモニタで視聴しながら重機を遠隔操縦する手法である．尚，各システムは，ともに同一オペレータ及び重機（遠隔操縦対応バックホウ〈CAT320E〉）を用いた．

2－2. 作業正確性検証

作業正確性検証として，重機バケット爪先の白線位置合わせを実施し，指定した白線とバケット爪先との平均離隔距離及び平均所要時間を計測した（写真 2）．本システムと従来システムの作業正確性は同程度であった（表 1）．車載カメラのみで従来システムと同等の作業正確性を確保できる本システムは，俯瞰カメラが設置できない現場環境での適用に有効であり，魚眼カメラの広い視野を活用できるため安全性の面でも有利と考える．

2－3. 走行正確性検証

走行正確性検証として，カラーコーンとコーンバーで構成する全長約 100m，幅約 4m のコ字型のコースを，幅 2.8m の重機が走行する際のコース構成部材への接触回数及び所要時間を計測した（写真 3）．走行正確性については，本システムの方が従来システムよりも良好な結果が得られた（表 2）．従来システムは，俯瞰カメラと重機の位置関係によって生じる死角の影響から，コーナー部走行時の履帯切り返し操作が増加したのに対し，本システムは，魚眼カメラの視野範囲が広く，死角が低減できたため所要時間の短縮が図れたと考えられる．



写真 1 使用重機と操縦機器



写真 2 作業正確性検証状況

表 1 作業正確性検証結果

	平均離隔距離	平均所要時間
本システム	20.4cm	38秒
従来システム	21.4cm	44秒



写真 3 走行正確性検証状況

表 2 走行正確性検証結果

	接触回数	平均所要時間
本システム	0回	2分28秒
従来システム	1回	2分52秒

キーワード 無人化施工，遠隔映像，ヘッドマウントディスプレイ，魚眼カメラ

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設株式会社 技術センター生産技術開発部 TEL 045-814-7229

2-4. 作業効率検証

作業効率検証は、重機による掘削・埋戻作業をそれぞれ実施し、掘削（埋戻）土量と所要時間から単位時間当たりの掘削（埋戻）量を算出した（写真4）。従来システムについては時間の都合上実施できなかったため参考値となるが、本システムについては、掘削作業は埋戻作業の約3倍の作業効率であった（表3）。

3. システム有効性検証

3-1. システム構築時間検証

機材荷解きから重機作業開始までに要する時間をシステム構築時間とし、3人で設置作業を行う場合の所要時間を計測した（表4）。本システムは準備開始から1時間強で重機作業の開始が可能であり、災害対応の特に初動対応への適用に有効と考える。

3-2. 映像遅延時間検証

カメラ取得映像をオペレータが確認できるまでの伝送遅延時間を計測した（表4）。遅延時間は242msであり、オペレータへヒアリングした結果、重機操縦にあたっての見え方への指摘・違和感はない印象であった。

3-3. 映像解像度検証

映像解像度検証として、本システムの魚眼カメラと従来システムの広角カメラで視力検査を実施した。各システムのカメラ画像と中央の視力表の拡大画像を写真5に示す。魚眼カメラの視力は0.2相当であったのに対し、広角カメラは0.8相当であった（表5）。魚眼カメラの視力（映像解像度）が低い要因には、イメージセンサとイメージサークルの関係による同一被写体の構成ピクセル数の低下が考えられる。広角カメラはセンサを100%使用するが、魚眼カメラは画角を確保するためセンサ使用率は57%となっており、視力表を構成するピクセル数には約8倍の差がある結果が得られた。以上から、画角と解像度はトレードオフ（二律背反）の関係にあることが確認でき、本システムの画角を確保したまま映像画質を向上させるには、4K/8Kといった高解像化が必要と考える。

4. まとめ

魚眼カメラとHMDを用いる本システムと、車載カメラと俯瞰カメラ及び複数のモニタを用いる従来システムとの比較実験から、本システムの有効性を確認した。映像解像度の低下という課題も確認され、今後は作業性向上に向けた映像の高度化に着手する予定である。尚、本稿は、一般財団法人先端建設技術センター殿との「遠隔操縦における作業効率向上に資する技術（無線通信技術、映像処理技術）」における技術検証実験を基に作成したものであり、関係者様には深く感謝申し上げます。

参考文献：1）今石尚，加藤崇「HMDを用いた臨場型遠隔映像システムの開発」（土木学会第72回年次学術講演会（平成29年9月））



写真4 作業効率検証

表3 作業効率検証結果

	単位時間当たりの施工量	
	掘削	埋戻
本システム	59.5m3/h	19.6m3/h
従来システム (参考値)	30.0m3/h	30.0m3/h

表4 システム構築時間と遅延時間検証結果

システム構築時間	平均遅延時間
69分47秒	242ms

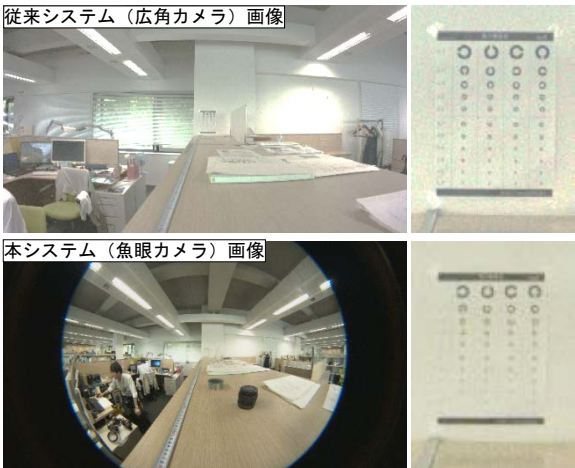


写真5 魚眼カメラと広角カメラの画像比較

表5 映像解像度検証結果

	画角		視力	センサ 使用率	視力表	
	縦	横			センサ 面積比	構築 ピクセル数
魚眼カメラ	144度	220度	0.2相当	57%	0.00059	1226
広角カメラ	70度	110度	0.8相当	100%	0.00461	9560