

HMD を用いた臨場型遠隔映像システムの改良開発

大成建設 技術センター 正会員 ○木下勇人 渡辺正嘉

土木研究所 正会員 橋本毅 山田充 山内元貴

1. はじめに

大成建設は、無人化施工における重機遠隔操縦時の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てきた¹⁾。しかし従来の HMD システム（図 1）は現場実証等から課題が見いだされたため、映像の高度化を図った新システムを開発した。本稿では、改良した HMD 新システムと性能検証実験について報告する。



図 1 従来 HMD システム

2. 新システム

従来システムの課題は、①画質が悪い、②後方が見えない、であった。①については、カメラを魚眼ズームカメラに変更し、フットペダルによりハンズフリーでのズーム切替操作を可能とした。②については、後方カメラを追加したことで、オペレータは前方上下左右 180 度のみでなく重機後方の確認が可能となった。HMD 画面上では、前方上部の小窓（ワイプ）にそれぞれ対応した後方カメラ映像が表示されるため、オペレータは首を少し振るだけで重機の周囲を確認できる。整理したものを表 1 に示す。

表 1 新システム変更点

課題	対策	従来	新システム
①画質向上	カメラ変更によるズーム機能追加	一眼レフカメラ	魚眼ズームカメラ
	フットペダルによるズーム切替	なし	フットペダル
②視野拡大	後方カメラ追加による後方視野確保	なし	後方カメラ
	後方カメラ追加による HMD 内表示変更	なし	HMD 内表示

3. 性能検証実験

3-1. 実験目的

実験目的は以下 2 点である。

- ① 画質の差による作業性の検証
- ② 後進移動における後方カメラの有効性の検証

3-2. 実験方法

操縦条件と移動条件の異なる 6 ケースについて、土研標準タスクを実施した。各条件は以下の通りである。なお、従来システム方式では後方視認ができないため、後進時は新システムの後方カメラを使用しており、A-2 は参考値となる。

【試験条件】

操縦条件 : A.従来システム方式、B.新システム方式
C.俯瞰カメラ方式

移動条件 : 重機移動（復路）について
1. 旋回して前進、2. 旋回せず後進

試験ケース : A-1 A-2 B-1 B-2 C-1 C-2 (6 ケース)

作業回数 : 各 5 回

オペ人数 : 5 人（経験年数別）

【作業サイクル】

待機エリア

↓ ①重機移動（往路）：前進

作業エリア：②③鉄製かご運搬作業

↓ ④重機移動（復路）：旋回して前進 or 旋回せず後進

待機エリア

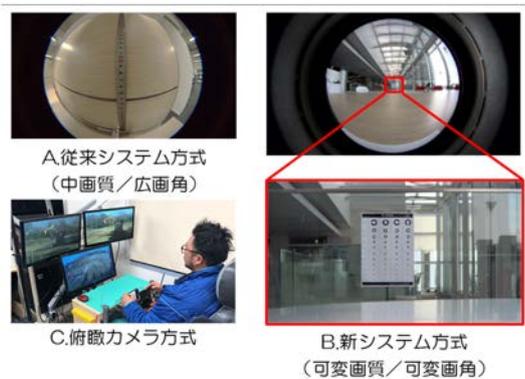


図 2 操縦条件

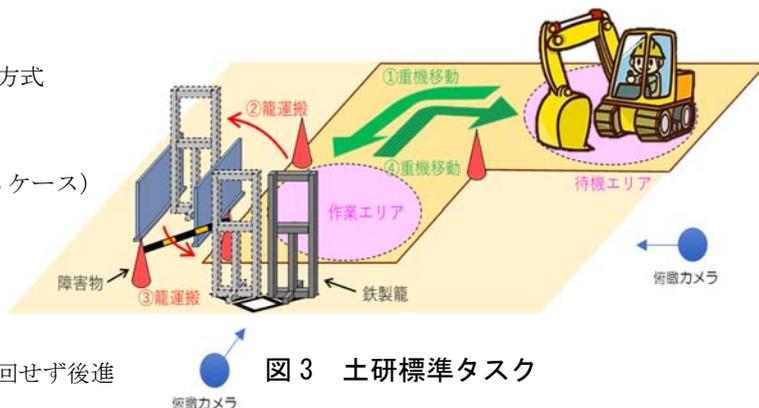


図 3 土研標準タスク

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

3-3. 作業効率検証

平均所要時間は、 $C-2 < C-1 < A-2 < B-2 < A-1 < B-1$ という結果であった。操縦条件毎では、C. 俯瞰カメラ方式が最も早く、A. 従来システム方式、B. 新システム方式の順であったが、移動中の時間差はほぼなく、運搬作業での差が支配的であった。B-1やB-2の新システム方式で多くの時間を要した原因としてペダル操作が挙げられるが、今後の習熟で回避可能であると考えられる。また、移動条件で所要時間に差が生じた要因としては、1. 旋回して前進には旋回する時間が必要であるほか、実験実施時は常に1→2という順序で実施したことで、オペレータの操縦慣れが生じたためと考えられる。

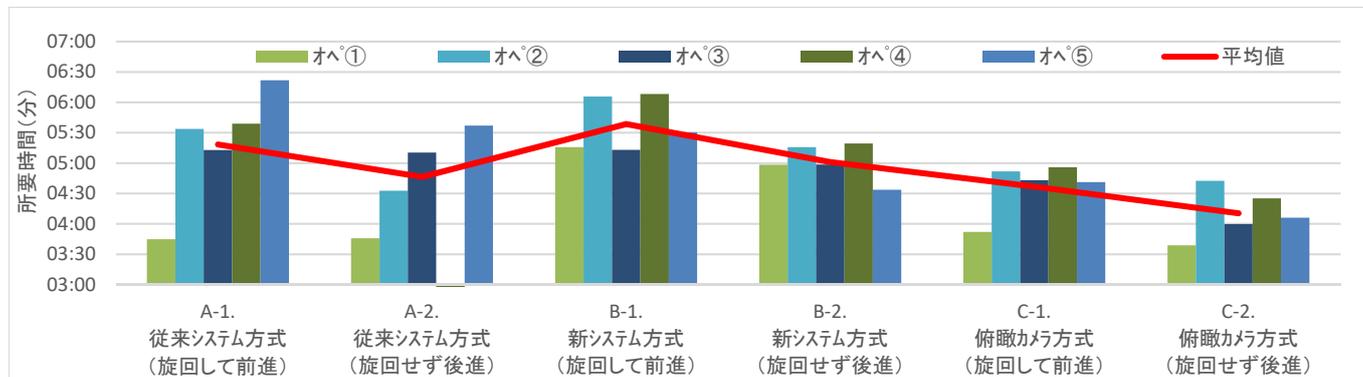


図4 平均所要時間

3-4. 作業精度検証

作業精度は、作業ステップ毎（往路・運搬作業・復路）のコーン接触や鉄製籠の脱落等のエラー回数で評価した。

往路では、C. 俯瞰カメラ方式が最もエラー回数が少なく、AとBで同等に増加する結果となった（表2）。実験時にオペレータを観察していると、ズームインで視野範囲が狭くなった状態で走行していることが散見された。これは、ズームインした方が映像が高精細に視認できるためと考えられるが、視野範囲が狭くなるため、ズームアウト状態であれば視認できたはずのコーン等が視認できておらず、これによりエラー回数が増加したと考えられる。

一方、運搬作業中は、B. 新システム方式、C. 俯瞰カメラ方式、A. 従来システム方式の順にエラー回数が増加する結果となった（表3）。新システムのズーム機能によってより精密な作業が可能となったため作業精度が向上したと考えられる。

復路では、C. 俯瞰カメラ方式ではエラーがなく、旋回して前進するケース、旋回せず後進するケースの順にエラー回数は増加する結果となった（表4）。

4. まとめ

従来システムにズーム機能と後方カメラを追加した新システムは、災害発生直後の俯瞰カメラが設置されていない状況を前提に開発した。オペレータの習熟によって俯瞰カメラ方式と遜色のない作業が可能となることが検証できたことで、重機単独での先行調査の可能性が拡大され、災害時の初動対応力の強化につながる技術であると考えられる。

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))

表2 エラー回数：往路

	A-1.	A-2.	B-1.	B-2.	C-1.	C-2.
オハ①	0	0	0	0	1	0
オハ②	0	0	0	0	0	0
オハ③	1	0	0	0	0	0
オハ④	0	-	2	0	0	0
オハ⑤	1	1	1	1	0	0
合計値	2	1	3	1	1	0
試行回数	22	15	25	25	24	25
平均値	0.09	0.07	0.12	0.04	0.04	0
	0.08		0.08		0.02	

表3 エラー回数：運搬作業

	A-1.	A-2.	B-1.	B-2.	C-1.	C-2.
オハ①	0	1	1	0	0	0
オハ②	1	1	2	2	0	1
オハ③	2	0	0	0	2	0
オハ④	2	-	0	2	2	1
オハ⑤	2	1	1	0	2	1
合計値	7	3	4	4	6	3
試行回数	22	15	25	25	24	25
平均値	0.32	0.20	0.16	0.16	0.25	0.12
	0.27		0.16		0.18	

表4 エラー回数：復路

	A-1.	B-1.	C-1.	A-2.	B-2.	C-2.
オハ①	0	0	0	0	0	0
オハ②	0	0	0	0	0	0
オハ③	1	0	0	1	0	0
オハ④	0	0	0	-	2	0
オハ⑤	0	0	0	0	0	0
合計値	1	0	0	1	2	0
試行回数	22	25	24	15	25	25
平均値	0.05	0	0	0.07	0.08	0
	0.025		0	0.075		0