

HMD を用いた臨場型遠隔映像システムの開発 その2. 作業効率の比較検証

大成建設 技術センター 正会員 ○木下勇人, 西田与志雄, 加藤崇, 石井喬之
国立研究開発法人 土木研究所 正会員 橋本毅, 山田充

1. 背景

ヘッドマウントディスプレイ (以下 HMD) を用いた遠隔映像システムについて, その 1 にて基本性能を検証した. その 2 では, 重機操縦方法の比較を行い, 本システムの有用性を検証した結果を示す.

2. 重機作業実験

比較検証として①搭乗 (本実験の基準となる通常の作業方法), ②俯瞰 (現場を俯瞰できる 2 カ所と重機操縦席 1 か所の計 3 台のカメラ映像をモニターで確認して行う作業方法), ③HMD (重機操縦席の魚眼カメラ 2 の映像を HMD に表示して行う作業方法) の 3 条件について, 重機のタスク作業と走行作業を実施した. 各条件での操縦状況を図 1 に示す. タスク作業, 走行作業ともに経験年数の異なる 5 名のオペレータとし, 試行回数は各条件で 10 回とした.

2-1. タスク作業

待機エリアから作業エリアまで移動し, 金属製の籠を所定の位置に移動させた後, スタート位置に戻るまでをひとつのタスクとし, 各条件での所要時間を計測した. イメージ図を図 2 に, 作業状況を図 3 に, 計測結果を図 4 に示す. オペ A は全体的に所要時間が多いが, オペレータの経験年数に依らず, 「俯瞰」と「HMD」のどちらの条件でも「搭乗」の約 2 倍の時間を要した. 以上から, 作業効率は「俯瞰」と「HMD」では同等程度であり, 「搭乗」の 1/2 程度である.

2-2. 走行作業

各条件において, 指定コースを重機で走行する際の所要時間を計測した. コースは直線, 曲線, 起伏を含む 1 周約 140m とし, コース幅は重機がギリギリで通過できる 2500mm とした (図 5). 計測結果を図 6 に示す. 各条件で所要時間に差はほぼ見られなかった. コースを形成するカラーコーンへの接触回数で走行正確性を評価したところ, 「搭乗」では安定した操縦をするオペレータでも, 「俯瞰」と「HMD」では接触が散見された (図 7). これはカメラ位置と重機位置の関係による死角の存在によるものと考えられる.



図 1 各条件での操縦状況

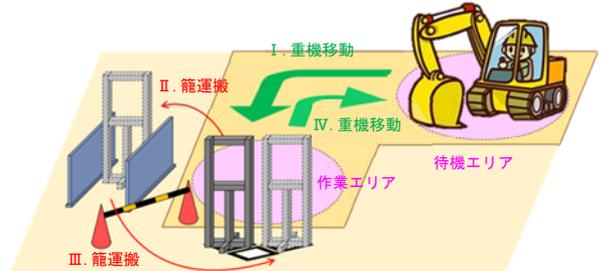


図 2 タスク作業イメージ図



図 3 タスク作業状況

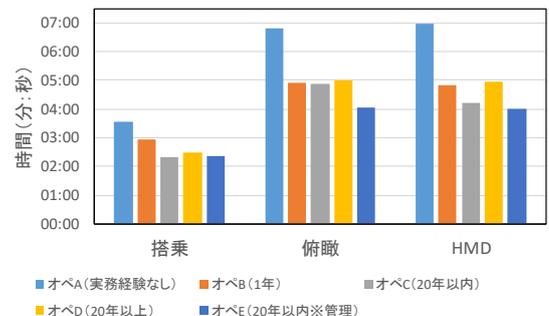


図 4 タスク作業の計測結果

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, 心理状態, 自律神経

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. オペレータ心理状況の検証

前記の重機作業実験では所要時間計測の他に、作業オペレータの心拍変動を計測することで、各操作条件でのオペレータの心理状態を検証した。図8に計測した心拍変動の一例を挙げる。黒実線で示す心拍数は、「搭乗」で80bpm程度、「俯瞰」「HMD」で60bpm程度と、いずれの場合も一般的な平均安静時心拍数（60～100bpm）であり、大差ない状況であった。

そこで自律神経バランス解析手法*を用いた作業オペレータのストレス評価を検討した。心拍変動データから、血圧変動に対応する低周波成分（LF成分）と呼吸変動に対応する高周波変動成分（HF成分）を抽出し、LF/HF値が大きければストレス状態、小さければリラックス状態であるとする手法である。図8の例（赤点線）では、LF/HF平均値は「搭乗」で最も大きく、「俯瞰」が「HMD」よりやや高いため、このオペレータは「搭乗」>「俯瞰」>「HMD」の順でストレスを感じていることが分かる。

以上の様な自律神経バランスによるストレス評価を重機作業実験に適用した結果を図9に示す。タスク作業・走行作業問わず、全体的に「俯瞰」「HMD」よりも「搭乗」でストレスを感じるオペレータが多い傾向となった。これは、実験を行った12月は外気温が低く、使用した重機は操縦席がむき出しのタイプであったため、「搭乗」時のオペレータは常に冷気に晒される状況であったのに対し、「俯瞰」「HMD」時は快適な遠隔操縦室で作業していたことに起因すると考えられる。

4. まとめ

重機操縦方法を比較することで、HMDシステムの有用性を検証した。本システムは俯瞰式の場合と作業効率は変わらない結果となり、重機遠隔操縦に適用可能であることが示された。また、HMD装着によるストレス負荷は確認できず、オペレータの心理状態は操縦方法よりも操縦環境に依存する部分が大いと考えられる。今後は、画質改善等の作業効率向上に向けた取組を行う予定である。

参考文献：*松本佳昭，森信彰，三田尻涼，江鐘偉，「心拍揺らぎによる精神的ストレス評価法に関する研究」（ライフサポート Vol.22 No.3 2010）



図5 走行コース

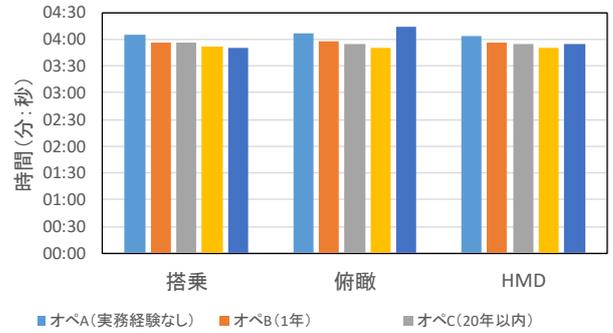


図6 走行作業の計測結果

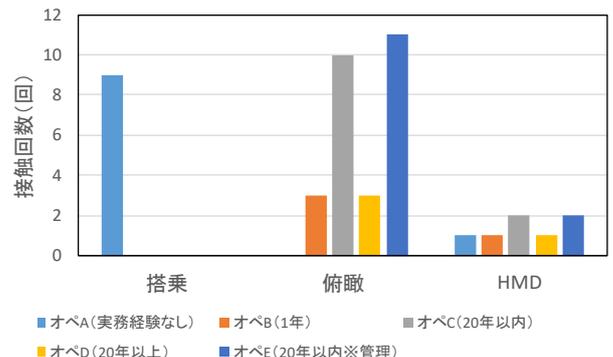


図7 走行正確性

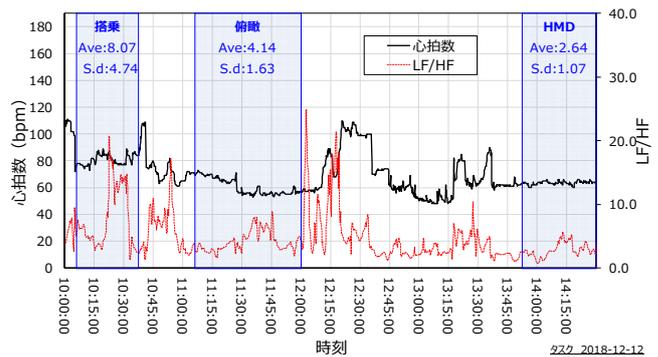


図8 心拍変動例

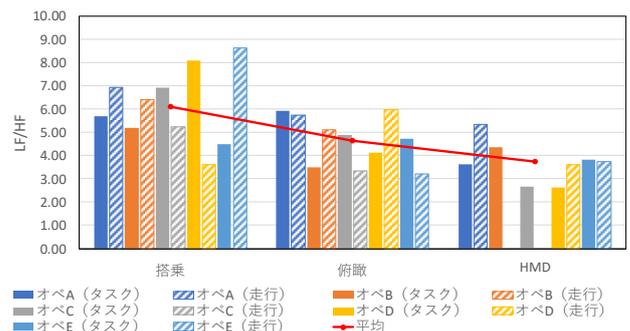


図9 重機作業実験のストレス評価