

操縦装置と画像システムによる油圧ショベル遠隔操作の作業効率改善

茂木正晴・橋本 毅・梶田洋規

1. はじめに

災害発生時（地震・噴火などによる災害）における初動対応としてカメラ映像を介した建設機械の遠隔操作による無人化施工が適用されており、土砂災害や火山災害等での復旧に活用されている。しかしながら、人が搭乗しての操作（搭乗操作）に比べ施工効率が著しく低下することが、無人化施工の改良が強く望まれる課題としてあげられている。

そこで本研究では、無人化施工において施工効率の改善を図ることを目的とした新しいシステムの検討を行った。具体的には、より搭乗操作に近づけることが可能な新たな操縦装置や、人間の視野角を参考に車載カメラによる映像情報量が搭乗操作時の視覚情報量により近くなる新たな画像システムを提案し、比較実験にて効率を検証した。

以下、その検証結果について述べる。

2. 効率改善可能な新しいシステムの提案

2.1 新しい操縦装置の提案

現在、一般的な遠隔操作用操縦装置は、図-1に示すようなジョイスティック型である。本装置は実際の油圧ショベル運転席の操縦装置とは操作感覚が異なっていることが、施工効率低下の原因の一つではないかと考えられる。そこで、図-2に示すような操縦席型操縦装置を製作し、実験にて効果を検証した。

2.2 新しい画像システムの提案

現在、一般的な遠隔操作時のカメラ映像は、図-3に示すように、車載カメラ映像 1 画像（図-3の下）＋外部カメラ映像 2 画像（図-3の上）で構成されており、車載カメラの映像は運転席から正面を水平約 90°、垂直約 60°の画角にて表示されている。油圧ショベルにて旋回操作以外の作業を行う場合、オペレータの視線はバケットと対象



図-1 ジョイスティック型操縦装置



図-2 操縦席型操縦装置



図-3 一般的な遠隔操作画像

物にほぼ固定されるが¹⁾、それらは通常運転席の正面に位置しているため、前述の車載カメラ画像内に常に入っている。従って、旋回操作以外の作業時にオペレータが必要な車載カメラからの映像情報は、現状一般的な車載カメラ映像のみでも十分と考えられる。

しかし、人間の視野角のうち有効視野（眼球運動だけで瞬時に情報受容できる領域）は、水平 30°、垂直 20°と、非常に狭い範囲であるが、

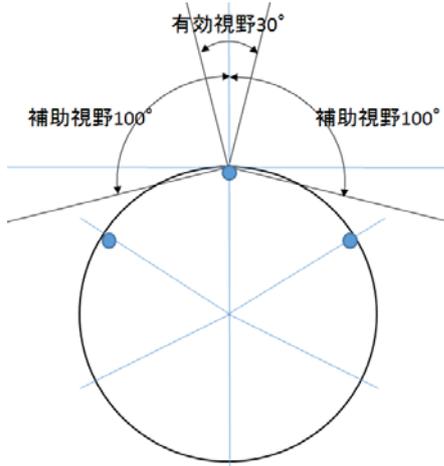


図-4 一般的な視野角（水平）

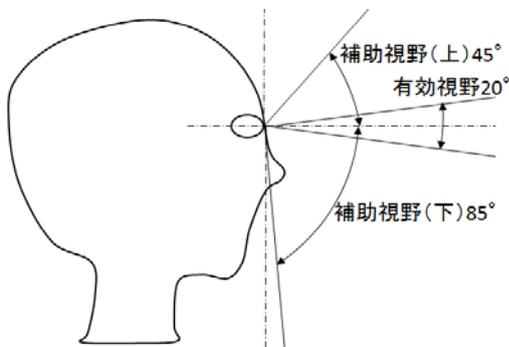


図-5 一般的な視野角（垂直）

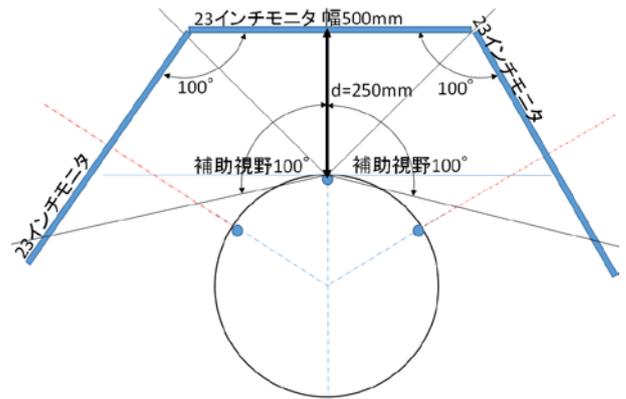


図-7 モニタ配置（水平）

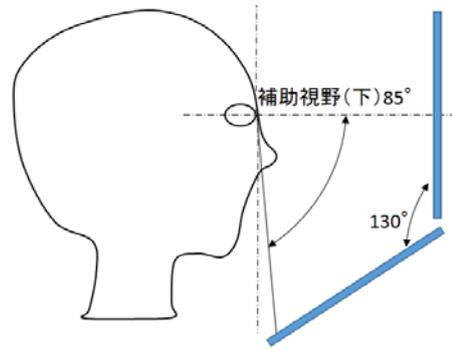


図-8 モニタ配置（垂直）



図-6 車載カメラ4台設置状況



図-9 提案した画像装置

補助視野（物体の存在がわかる領域）は、水平 100°、垂直 130°（上 45°、下 85°）と広い範囲となっており²⁾（図-4、図-5）、前述の現状一般的な車載カメラでは、上記の有効視野はカバーしているが、補助視野はカバーできていない。

本研究では、作業時間の大半を占める旋回操作以外のみに着目し、遠隔操作が搭乗操作に比べ施工効率が劣るのは、この補助視野、すなわち視線は正面のバケットと対象物を注視していても物体の存在はわかる領域の有無が原因の一つではないかと考え、図-6 に示すような車載カメラ 4 台に

て補助視野をカバーできる画像装置を製作し（図-7, 8, 9）、実験にて効果を検証した。

3. 実証実験

3.1 実験条件

実証実験は土木研究所にて提案した標準モデルタスクにて行った³⁾。これは災害現場で実施されている油圧ショベルによる無人化施工の作業要素を取り入れ、実際の災害現場を実験場に再現するものである。これにより施工効率への影響を検証することが可能である。

実験は 10 名のオペレータにて各 10 回ずつ行い、標準モデルタスク完了に費やした時間（サイクルタイム）を計測した。

実験パターンは以下の①～⑤のパターンとした。

- ① 通常の搭乗操作
- ② JS（ジョイスティック）＋車載カメラ 1 台
（一般的な遠隔操作システム）：図-10
- ③ JS＋車載カメラ 4 台：図-11
- ④ 運転席型＋車載カメラ 1 台：図-12
- ⑤ 運転席型＋車載カメラ 4 台：図-13



図-10 JS＋車載カメラ1台



図-11 JS＋車載カメラ4台



図-12 運転席型＋車載カメラ1台



図-13 運転席型＋車載カメラ4台

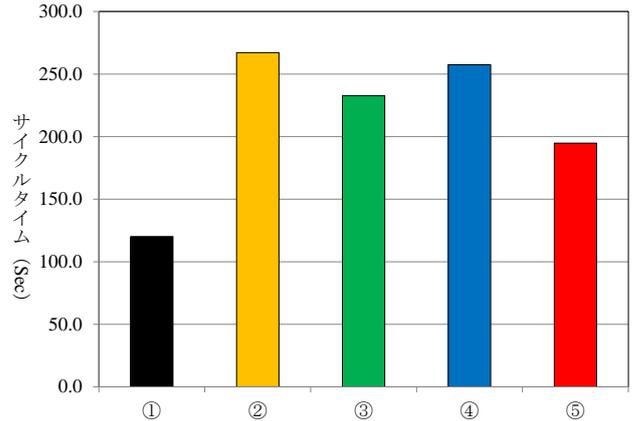


図-14 実験結果

3.2 実験結果

各オペレータ 10 名のサイクルタイムをすべて平均した結果を図-14 に示す。なお、各オペレータはそれぞれの実験パターンにおいて 10 回ずつ作業を行っているが、初回および 2 回目までのデータには、操縦装置や画像システムへの習熟度合が大きな因子として影響しているものと考え、除外するものとし、3 回目以降のデータを採用した。

実験結果（図-14）から以下のことが明らかとなった。

- (1) ①通常の搭乗操作と②JS＋車載カメラ 1 台（一般的な遠隔操作システム）を比較すると、一般的な遠隔操作システムのサイクルタイムは、通常の搭乗操作に比べ約 2.3 倍となっており、施工効率にして約 43%程度である。
- (2) ②JS＋車載カメラ 1 台と④運転席型＋車載カメラ 1 台、および③JS＋車載カメラ 4 台と⑤運転席型＋車載カメラ 4 台を比較すると、運転席型インターフェースがジョイスティックに比べ施工効率改善に効果があることがわかる。
- (3) ②JS＋車載カメラ 1 台と③JS＋車載カメラ 4 台、および④運転席型＋車載カメラ 1 台と⑤運転席型＋車載カメラ 4 台を比較すると、車載カメラによる視覚情報量の増加が施工効率改善に効果があることがわかる。
- (4) (2)(3)にて述べたように、運転席型インターフェース及び視覚情報量の増加は施工効率改善に効果があるが、両方を適用した⑤運転席型＋車載カメラ 4 台であっても①通常の搭乗操作の約 60%程度の施工効率である。

これは、遠隔操作が搭乗操作に比べ施工効率が低い原因がこれら 2 つのみではないことを示している。

4. 今後の課題と取組み

本研究での比較実験によって、操縦装置や視覚情報が作業効率に関連する因子であること、また関連する因子はその2つのみではないこと、が確認できた。本研究成果は、現場での無人化施工技術の作業効率向上に寄与するほか、今後の研究開発を進めるうえでの基礎データになるものと考えている。今後は操縦装置や視覚情報によるさらなる効率改善や、他因子の特定とその因子による改善技術の提案を行って行きたい。

また、災害現場での使用にあたっては、システムの信頼性、耐久性、コスト、災害現場への安全・迅速な導入方法などの検討が重要だと考えられる。今回提案した画像システムはコスト、迅速性の面では問題があると考えられるため、今後はオペレータが必要な映像情報を安価で安全・迅速に提供できるシステムの研究につなげていきたい。

さらに、遠隔操作の施工効率を改善するには、マシンガイダンス・マシンコントロールといった

情報化施工技術を導入することも有効であると考えられる。特に、遠隔操作時のオペレータは、搭乗操作時より少ない情報量（画像の視覚、奥行き感、音や振動など）にて同様の作業を行わなければならないため、通常の搭乗操作時より多大な負荷がかかっている。従ってオペレータの作業を補助する技術の開発は非常に重要である。今後それらの研究にも着手していきたい。

参考文献

- 1) Akihiko Nishiyama, Masaharu Moteki, Kenich Fujino : RESEARCH ON THE COMPARISON OF OPERATOR VIEWPOINTS BETWEEN MANNED AND REMOTE CONTROL OPERATION IN UNMANNED CONSTRUCTION SYSTEM, The30th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 2013
- 2) 矢口博久他共著：“眼・色・光--より優れた色再現を求めて--”、公益社団法人日本印刷技術協会、p.9、2007
- 3) 茂木正晴、油田信一、藤野健一：油圧ショベルの遠隔操作による作業の効率評価のためのモデルタスクの提案、建設機械施工論文、Vol.66、No.8、pp.71～79、2014

茂木正晴



研究当時 土木研究所技術推進本部先端技術チーム主任研究員
現 国土交通省関東技術事務所技術情報管理官
Masaharu MOTEKI

橋本 毅



土木研究所技術推進本部先端技術チーム 主任研究員、工博
Dr.Takeshi HASHIMOTO

梶田洋規



土木研究所技術推進本部先端技術チーム 上席研究員
Hiroki KAJITA