

無人化施工における Cognitive Tunneling を防止可能な視覚提示手法の構築に関する研究

早稲田大学 教授 岩田 浩康

概要：

無人化施工の問題点として視覚情報の欠落により作業効率が搭乗操作の半分以下になることがあげられる。そのため、従来ではドローンや画像処理を用いて視覚情報を追加する手法が研究されてきた。しかし、情報を追加すると特定の映像のみに注意が集中する Cognitive Tunneling に操作者が陥ってしまう。そのため、本助成では Cognitive Tunneling を防止し、重機の作業状態に応じて適切な映像に操作者の注意を誘導可能な手法構築を目的とする。Cognitive Tunneling は映像間の情報統合の容易さを表す Visual Momentum が低いこと、ヒトの注意の払いやすさを表す Visual Saliency が高い映像のみに注意が集中することから発生する。よって、Visual Momentum は同じランドマークを異なる映像で提示すると向上可能なため、作業状態ごとに有用なランドマークを各映像に内包した。また、ヒトは有効視野内において振動する物体には注意を払いやすいことから、外部カメラの映像を有効視野内に提示し、作業状態が切り替わる時にはその映像を振動させた。提案手法の有用性を確認するため、スケールモデルにおいて実験を行ったところ、Cognitive Tunneling を低減可能かつ作業効率を向上できる可能性が示唆された。

キーワード: 無人化施工, Cognitive Tunneling, Visual Momentum, Visual Saliency, 視覚支援

1. はじめに

大規模災害後には、瓦礫等を撤去するため建設機械等の重機を遠隔から操縦する無人化施工が採用される。その問題点としては、視覚情報の欠落により、搭乗操作と比較して作業効率が50%以下まで低下することがあげられる。効率向上のためには、重機が移動しているかや把持をしているかといった作業状態に応じて適切な外部カメラの映像を注視することが重要である¹⁾。したがって、ドローンや画像処理を用いた任意視点映像を追加提示する研究が行われてきた^{2,3)}。しかし、映像を追加すると操作者が特定の映像のみに注視する Cognitive Tunneling に陥る可能性があり⁴⁾、作業状態に応じて適切な外部カメラ映像に注意を向けることが困難になる。そこで、本研究では Cognitive Tunneling を低減し、操作者が作業状態に応じて適切な外部カメラ映像に注意を向けることが可能となる映像提示手法の構築を目的とする。

2. 映像提示手法の構築

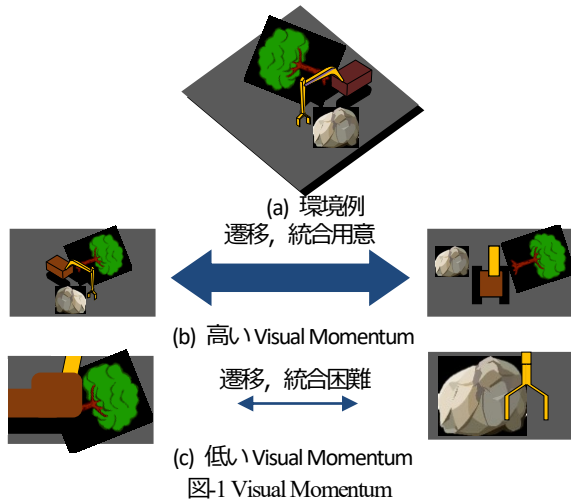
(1) Cognitive Tunneling 発生原因

a) Visual Momentum

Visual Momentum は映像間の視線遷移およびその遷移より得られた情報の統合容易性を表す指標である。Visual Momentum が低いと映像間の視線遷移が困難となり、各映像から取得した情報統合も困難となる。図-1 (b)と(c)はどちらも図-1 (a)の環境だが、(b)は Visual Momentum が高く、(c)は低い。図-1 (c)のような映像提示手法では、映像間の遷移が困難となり、Cognitive Tunneling に陥る可能性がある⁵⁾。したがって、図-1 (b)のような Visual Momentum の高い映像提示手法を構築できれば作業効率が向上する可能性がある。

b) Visual Saliency

Visual Saliency は視覚的顕著性を表す指標である。ヒトは Visual Saliency が高い(特徴的である)箇所に注意を払い、それ以外の場所を無視することがある⁶⁾。例えば、夜空の中の月には注意が向きやすく (Visual Saliency が高い)、それ以外の暗闇には注意が向きにくい (Visual Saliency が低い)。無人化施工の操作者は、車載映像のみに注意を払い、外部カメラ映像を無視してしまうことがある。操作者には作業状態に応じて適切な外部カメラ映



像を注視する必要があることから、車載映像から注意を解放し、状態に応じた外部カメラ映像に注意を向けさせられる映像提示手法を構築できれば、作業効率が向上する可能性がある。

(2) 映像提示手法の構築

2.2 より高い Visual Momentum と Visual Saliency が高い映像からの注意の解放が可能な映像提示手法を構築する(図-2)。

a) Visual Momentum

Visual Momentum の向上には、同じ物体を撮像することが有用である⁷⁾。したがって、作業状態に応じて有用な物体を撮像する。移動や運搬中は真上と斜めからの俯瞰映像から、把持やリリース等のマニピュレーション作業中は真横からの詳細映像から、操作者はそれぞれ現場の情報を取得する⁷⁾。よって、移動・運搬時には真上と斜めから捉えた俯瞰映像内に当該作業時に有用となる重機、障害物、対象物を提示し、マニピュレーション作業時には真横からの詳細映像内に当該作業時に有用となるエンドエフェクタと対象物を提示する(図-3)。

b) Visual Saliency

ヒトは左右 30 度程度以内の有効視野内であれば眼球運動のみで情報を取得可能である⁸⁾。また、ヒトは有効視野内で振動する物体には注意を払いやすい。上記より、状態ごとに有用な外部カメラ映像を有効視野内に提示し、提示時には人が注意を向けやすい 5Hz⁹⁾ で振動させる。

3. 実験

提案する映像提示手法の有効性を検証するため、図-4 に示す無人化施工を再現した 1/20 スケールモデル(以降 SM)を用いて実験を行った。

(1) 実験条件

実験は作業効率と視線への影響を検証する実験①と精

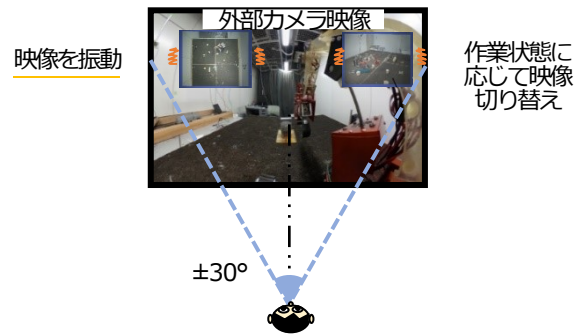
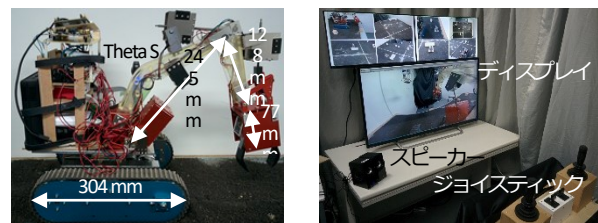


図-2 提案する映像提示手法



(a) 移動と運搬 (b) マニピュレーション
 図-3 各作業状態での提示映像

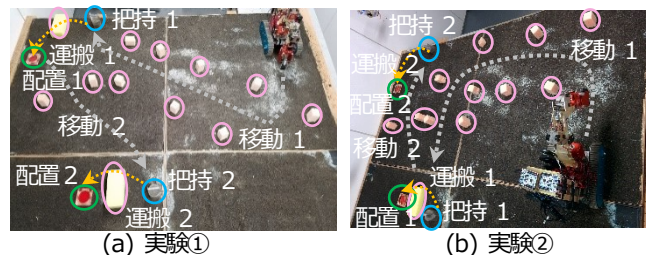


(a) スケールモデル (b) インタフェース

図-4 実験で使ったスケールモデル



図-5 コントロール群への提示映像



(a) 実験① (b) 実験②

図-6 実験環境

神負荷への影響を検証する実験②を行った。実験タスクは、どちらも無人化施工におけるモデルタスクを参考に設定した。被験者は、実機の操作経験はないが、本 SM での操作には十分習熟した 8 名とした。提案映像の有効性を検証するため、被験者をコントロール群(4 名)と介入群(4 名)に分けた。コントロール群では従来通り外部カメラ映像を常に提示した(図-5)。介入群では、提案する映像提示手法を用いた。なお、介入群では、カメ

ラスイッチャー（実験者）が重機の位置を基に状態を判断し、映像を切り替えた。

実験①では、図-6 (a)の環境にて上記のタスクを行い、作業時間、停止時間、視線を記録した。実験②では、図-6 (b)の環境にて認知負荷の計測のため二重課題を行った。具体的には、上記のタスク中に 500Hz と 1000Hz の音をランダムに流し、被験者には 500Hz の音が聞こえた時にフットペダルを可能な限り早く踏むように要求した。作業時間と 500Hz の音が流れてからフットペダルを踏むまでにかかった時間、踏んだ回数を記録した。

(2) 実験①に関する結果・考察

a) 作業時間

図-7 に全体と各作業状態の作業時間を示す。ウェルチの t 検定を用いた結果、全体の作業時間において有意傾向が、把持とリリースにおいて有意差が確認された。これらの結果より、提案する映像提示手法により、全体の作業時間、把持時間、リリース時間を低減できることが示唆された。一方、移動と運搬においては有意差が確認できなかったため、考察する。

- 移動：本タスクでは許容範囲が 100mm 以上の移動 1 と許容範囲が 20mm 以下の移動 2 があつた。図-8 に各移動における作業時間を示す。ウェルチの t 検定を用いた結果、移動 2 では介入群の方が有意に移動時間が少なくなる傾向が確認された。以上より、提案する映像提示手法では細かい移動が必要となる際に作業時間を低減できる可能性が示唆された。
- 運搬：本タスクでは運搬経路における障害物は 1 つしかないので、細かい作業は要求されていない場合。そのため、細かい作業が要求されない場合には、提案する映像提示手法は作業時間を低減できない可能性が示唆された。

b) 停止時間

図-9 に全体と各作業状態の停止時間を示す。ウェルチの t 検定を用いた結果、全体と把持において有意差が確認された。これらの結果より、提案する映像提示手法により、全体と把持における停止時間を低減できることが示唆された。一方、移動と運搬、リリースにおいては有意差が確認されなかった。運搬では細かい作業が要求されなかったため、移動とリリースに関して考察する。

- 移動：a) と同様に許容範囲が異なる移動 1 と移動 2 における停止時間を図-10 に示す。ウェルチの t 検定を用いた結果、移動 2 では介入群の方が有意に停止時間が少なくなる傾向が確認された。以上より、提案する映像提示手法では細かい移動が必要な際に停止時間を低減できる可能性が示唆された。

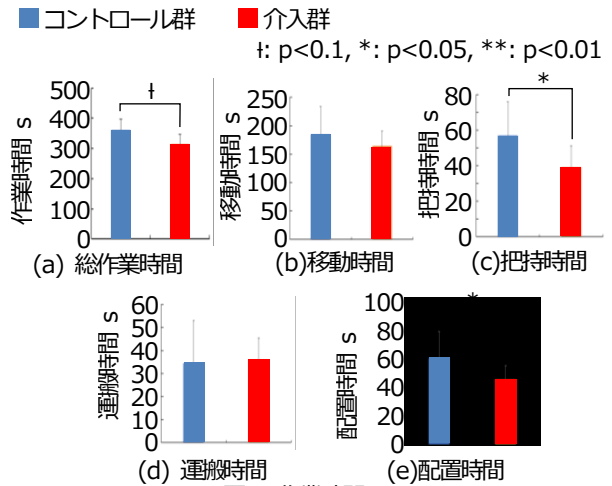


図-7 作業時間

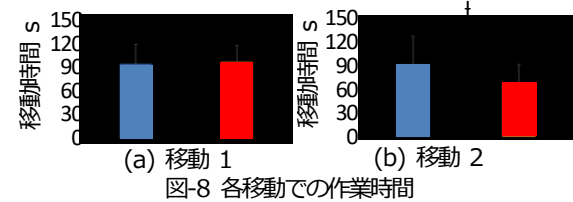


図-8 各移動での作業時間

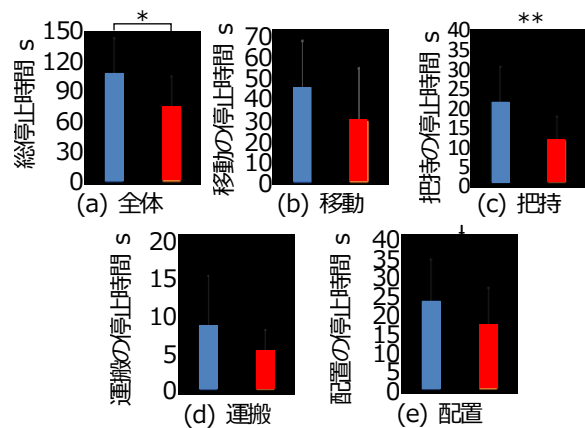


図-9 停止時間

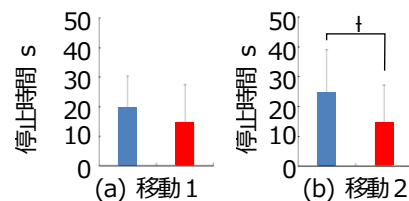


図-10 各移動の停止時間

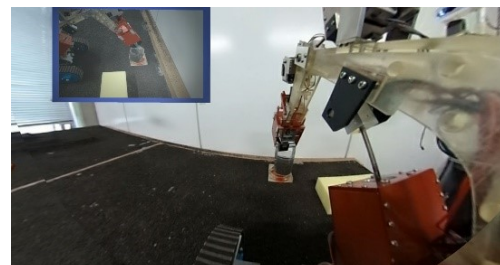
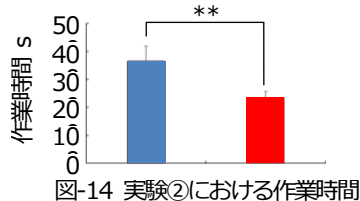
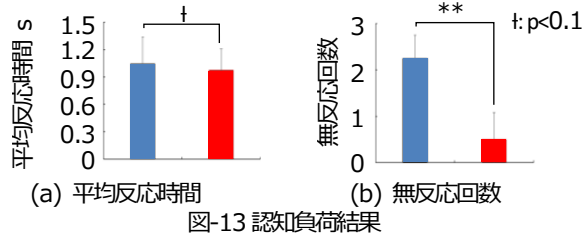
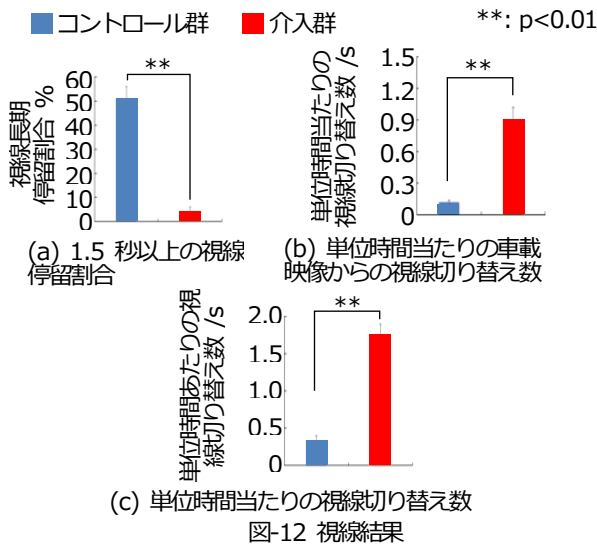


図-11 配置時のオクルージョン

- リリース：有意差が確認できなかった要因としてオクルージョンがあげられる。図-11 に介入群におけるリリース時の提示映像を示す。操作者はオクルー



ジョンによりリリースエリア全ての視認が困難である。これにより、操作者はおおまかにリリースをしたため、有意差が確認できなかった可能性がある。

c) 視線

図-12 に視線の結果を示す。なお、作業時間の 50%以上が視線検出エラーとなっている被験者（コントロール群 2 名、介入群 2 名）は除外した。1 つの映像を 1.5 秒以上注視している割合（図-12 (a)）から Visual Momentum を、1 秒間に注視映像を車載映像から外部カメラ映像に切り替えた回数（図-12 (b)）から Visual Saliency を、1 秒間の注視映像切り替え回数（図-12 (c)）から Cognitive Tunneling をそれぞれ評価する。ウェルチの t 検定を用いた結果、介入群の方が 1.5 秒以上同じ映像を見ている割合が有意に低いこと、注視映像を車載映像から切り替えている回数が有意に多いこと、注視映像の切り替え回数が有意に多いこと、がそれぞれ確認された。以上より、提案する映像提示手法を用いることで Visual Momentum を向上でき、Visual Saliency の高い車載映像から低い外部カメラ映像に注意を誘導でき、Cognitive Tunneling を低減可能なことが示唆された。

(3) 実験②に関する結果

図-13 に二重課題の結果（無反応回数と平均反応時間）を、図-14 に作業時間を示す。図-13 より、介入群の方が有意に音声刺激に対する無反応回数が少なく、平均反応時間も有意に低い傾向があることがわかった。上記より、提案手法により認知負荷を軽減可能なことが示唆された。それに伴い、作業時間も有意に低減されていることから、作業効率を向上可能なことが示唆された。

4. まとめ

本申請では、無人化施工の高効率化のため、Cognitive Tunneling を低減可能な視覚提示手法を構築した。Cognitive Tunneling の要因は低い Visual Momentum と Visual Saliency の高い映像のみに注意を払うことである。したがって、各映像に同じランドマークを内包し、Visual Momentum の向上を目指した。また、有効視野内に Visual Saliency の低い外部カメラ映像を振動提示することにより、Visual Saliency の高い車載映像からの注意の誘導を促した。スケールモデルを用いた実験の結果、Cognitive Tunneling を低減でき、作業効率も向上できる可能性が示唆された。今後は、機械学習を用いた作業状態識別手法の構築、ならびに実機での実験を行っていく予定である。

参考文献

- 1) Sato, R., Kamezaki, M., Sugano, S. and Iwata, H.: Gaze pattern analysis in multi-display systems for teleoperated disaster response robots, IEEE Int. Conf. Systems, Man, and Cybernetics, pp. 3534-3539, 2016.
- 2) 永谷圭司, 薬師川楓, 桐林星河, 渡辺敦志: 土砂災害の初動対応を目指した無人建設機械の状態提示技術の研究開発—第一報: 有線給電式マルチロータ機を用いた建設機械周囲の情報取得試験—, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, pp. 1P1-10a6, 2016.
- 3) Sato, T., Moro, A. and Sugahara, A. et al.: Spatio-temporal bird's-eye view images using multiple fish-eye cameras, IEEE/SICE Int. Symp. System Integration, pp. 753-758, 2013.
- 4) Dirkin, G.: Cognitive tunneling: Use of visual information under stress, Perceptual and Motor Skills, vol. 56, pp. 191-198, 1983.
- 5) Chen, J., Haas, E. and M. Barnes: Human performance issues and user interface design for teleoperated robots, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 37, no. 6, pp. 1231-1245, 2007.
- 6) Harel, J., Koch, C. and Perona, P.: Graph-based visual saliency, Advances in Neural Info. Processing Syst., vol. 19, pp. 545-552, 2007.
- 7) Woods, D.: Visual momentum: a concept to improve the cognitive coupling of person and computer, Man-Machine Studies, vol. 21, pp. 229-244, 1984.
- 8) 畑田豊彦, “情報受容と視野特性の計測”, 人間工学, vol. 29, Supplement 号, 1993.
- 9) 志村恵, 鈴木浩之, 下村義弘, 勝浦哲夫, “注視中における周辺視野内での視覚的振動運動刺激に対する知覚特性”, 日本生理人類学会誌, vol. 20, no. 2, pp. 95-102, 2015.