

博士論文審査報告書

論文題目

View Systems for High Efficiency
Teleoperations for Unmanned Construction
based on Human Cognition Characteristics

無人化施工の高効率遠隔操作を目指した
ヒトの認知特性に基づく視覚情報提示手法

申請者

Ryuya	Sato
佐藤	隆哉

総合機械工学専攻 ニューロ・ロボティクス研究

2020年2月

(1) 審査経緯

博士論文審査の経緯を以下に示す。

- 2019年11月21日 予備審査会
- 2019年12月5日 教室会議受理決定
- 2019年12月19日 創造理工学研究科運営委員会受理決定
- 2020年1月6日 博士論文読み合わせ会
- 2020年1月8日 リーディング大学院実体情報学 QE3 実施
- 2020年1月23日 公聴会
- 2020年2月6日 審査分科会
- 2020年2月25日 研究科運営委員会予定

(2) 論文背景・内容・評価

近年日本では東日本大震災や西日本豪雨等未曾有の災害が多発しており、建設機械を遠隔操作する無人化施工を用いた復旧・復興への期待が高まっている。しかし、無人化施工での遠隔操作では映像遅延や五感の欠如により、作業効率が搭乗操作と比較すると半分以下まで低下する。本論文では、ヒトは70%の情報を視覚から得ていること、無人化施工において視覚関連の問題が最も重要であるという報告があること、作業時間の30%は視覚情報のみに集中して他の情報を無視すること、から視覚情報に着目している。先行研究では、ドローンや画像処理を用いて任意視点の映像を提示する手法や、環境カメラを作業状態に応じて制御する手法、3D や広視野の車載映像を提示する手法などが開発されている。また、雲仙普賢岳等の無人化施工現場では、4~6 つ程度の映像を提示している。しかし、従来手法ではヒトの認知特性を考慮しておらず、情報を追加するアプローチを取っているため、操作者の認知負荷が肥大している。具体的には、従来研究では作業中のみを対象としているため、操作者は作業プランニングと作業を同時に行う必要がある。また、どのようなカメラ配置からの映像が操作しやすいかといったことに関しては検討がなされていない。さらに、操作者が特定の映像のみに着目する **Cognitive Tunneling (CT)** により、作業状態に応じて適切な映像を選択することが困難になる。

以上の背景から、本論文では、ヒトの認知特性に基づいた映像提示手法の構築を行っている。具体的には、a) 作業前における環境情報提示手法の構築、b) マニピュレーション作業における最適・好適な外部カメラ配置の導出、c) CT を低減可能な映像提示手法の構築を行っている。a) では、ヒトには認知地図と呼ばれる空間認知表象があり、その特性に基づき映像提示手法を構築した。認知地図は環境を俯瞰的な視点から捉えた配置的知识と主観的な視点から捉えた手続的知识に大別できる。配置的知识獲得のため任意視点から環境を把握可能な俯瞰映像（配置映像）を、手続的知识獲得のため操作者視線映

像（手続映像）を提示した．シミュレータを用いた検証実験の結果，提案手法により認知地図の歪みを低減でき，把持物体等の重要なランドマークを認知できる割合を向上できる可能性が示唆された．また，配置映像により移動距離を低減できていることから全体的なプランニングを，手続映像により把持時における手先移動速度を向上できていることから局所的なプランニングを容易にできる可能性が示唆された．さらに，事前のプランニングを忘却する可能性があるため，拡張現実を用いたリマインダ手法を構築し，作業時間を低減できる可能性が示唆された．b)では，典型的景観と呼ばれる，ヒトが最も物体認知を容易にできる映像の特徴に基づき仮説を立て，実験的に外部カメラの最適・好適配置を導出した．オクルージョンが最も少ない映像が典型的景観となり，その $\pm 30^\circ$ 以内の回転であれば典型的景観と同様に物体認知が可能である．そのため，最適配置は典型的景観，好適配置は典型的景観から $\pm 30^\circ$ 以内の回転と仮説を立てた．初心者と熟練者を被験者とし，スケールモデルと実機を用いて実験を行った．各実験条件に関して結果と考察をまとめ，導出された最適・好適配置を基に現場でカメラを配置可能であることが示唆された．c)では，CTの発生原因である Visual Momentum (VM) と Visual Saliency (VS) の特性に基づき映像提示手法を構築した．VM は映像間を遷移し情報統合を行う際の容易さの指標，VS はある領域においてヒトが注意を向ける容易さの指標である．VM が低く，VS の高い映像のみに注意を向けると CT に陥ってしまう．そのため，VM を向上するため同じランドマークを映像内に提示した．また，VS の高い車載映像から注意を解放するため，有効視野内に VS の低い外部カメラ映像を提示し，表出時にはヒトが注意を向けやすい周波数で振動させた．スケールモデルを用いた実験の結果，CT を低減でき，マニピュレーションでの作業効率を向上できる可能性が示唆された．これらの結果は，無人化施工の高効率化を示したものと言える．

以上を要するに，本論文は，無人化施工の遠隔操作における高効率化に着目し，ヒトの認知特性に基づいた視覚提示手法を提案している．これまでも視覚情報に関する研究は行われているが，情報を追加するアプローチを取っているため，操作者への認知負荷が肥大していた．それに対して，ヒトの認知特性を考慮し映像提示手法を構築したことは画期的な成果であり，今後の無人化施工の高効率化に加え，宇宙や深海等の遠隔操作の発展にも大いに貢献するものである．よって，本論文は博士（工学）早稲田大学の学位論文として価値のあるものと認める．

（本文終わり）

2020年2月

2020 年 2 月

審査員

主査 早稲田大学 教授
博士（工学） 早稲田大学
岩田 浩康

早稲田大学 教授
工学博士 早稲田大学
菅野 重樹

早稲田大学 教授
工学博士 早稲田大学
高西 淳夫

早稲田大学 教授（任期付）
博士（工学） 東京大学
奥乃 博

早稲田大学 教授
博士（工学） 早稲田大学
上杉 繁
