



無人化施工の効率・安全を 高める映像注目支援に 関する調査研究

亀崎 允啓

早稲田大学 理工学術院総合研究所
(早稲田大学 創造理工学部 総合機械工学科)

研究背景

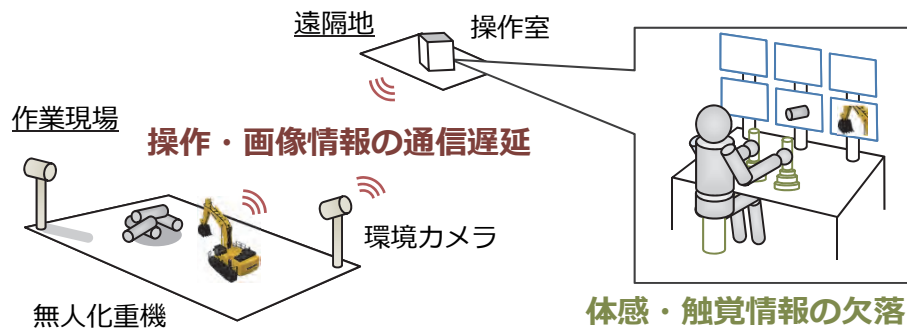
- **無人化施工**は、急斜面での土木工事や水中での河底整備作業、1人のオペレータ操縦による複数重機作業など、平時における通常利用を中心に応用展開されていた。
- 雲仙普賢岳への適用事例以降、**災害対応などの有事への適応が強く求められる**ようになっている。
- この度の大震災・大津波被害からの復旧工事や、原子力発電所事故に伴う放射線環境下での解体作業などへの適応を踏まえ、この傾向は近年さらに強くなっている。

無人化施工の主な課題

- 操縦条件や操縦環境は、根本的に搭乗時のものと異なる
 - 違和感や不慣れさによって必然的に**作業効率が低下**
 - 掘削作業における作業効率は、有人時の4-6割程度

[施工効率を低下させる主な要因]

視覚提示内容の不完全性



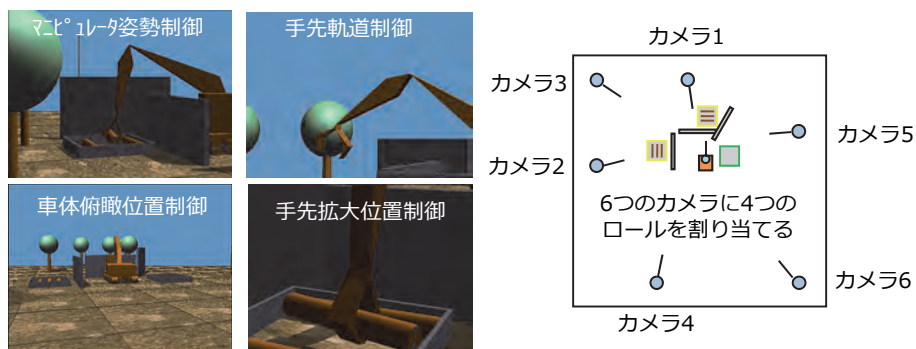
平成26年 建設施工と建設機械シンポジウム 2014年11月27日

視覚提示内容の改善

- 無人化施工の高度化には、遠隔操縦の計画や判断の基本となる映像情報そのものへの要求が厳しくなると予想される

[環境カメラの半自動制御システム]

- ・ 作業状況に応じてカメラの方向・画角を自動的に制御
- ・ 状況に適したカメラを選択して適切な制御モードを割り当て



平成26年 建設施工と建設機械シンポジウム 2014年11月27日

映像の注目・注視支援

[2012年度：環境カメラの半自動化制御手法の開発]

→状況に応じて変わる「オペレータが望む映像」を提供できる可能性が示唆された

潜在的課題：計画や操作の判断に不可欠な基本情報(視覚情報)が多彩かつ広範に得られることは重要である一方、オペレータの認知情報処理に関する負荷が肥大してしまうことが懸念される



[本年度：映像の注目・注視支援]

→注目すべきカメラ映像と領域、および映像の解釈方法をシステム側から積極的に提案することで、たくさんの映像の中から、状況にあった適切な映像を探し、その映像内容を把握する認知的負担を大幅に減らすこと、さらには適切な誘導が可能になる

充実が図られる視覚提示情報をフル活用するためのインタフェース技術であり、無人化施工の高度化を担う有力なツールの1つになると考えている

平成26年 建設施工と建設機械シンポジウム 2014年11月27日

研究手順

1. 注目領域の分析と半自動制御手法の改良

- 作業状況と注目映像および注目領域との関連性を分析し、注視支援を実装するための半自動制御手法の改良を行う。

2. 注視支援システムの開発

- 3段階の注視支援技術を開発する。
 - フェーズ1：作業状況に応じた映像の選択モジュール
 - フェーズ2：注目領域の抽出モジュール
 - フェーズ3：選択・抽出領域の解釈モジュール

3. VRシミュレータを用いた実証実験

- VRシミュレータを用いて、注視支援なしとありで比較を行う。

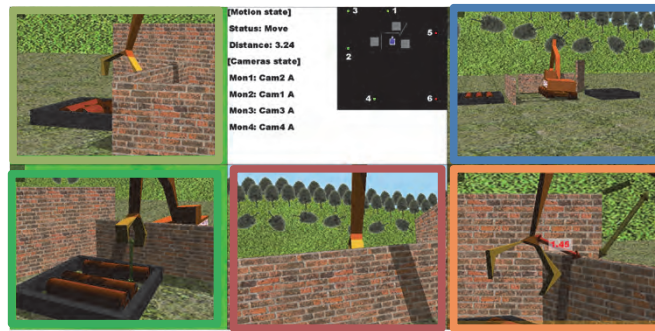
平成26年 建設施工と建設機械シンポジウム 2014年11月27日

1. 半自動制御手法の改良

注視支援の効果を高めるために、カメラロールの定義とモニタ表示位置の調整を行った。

(2)手先の拡大映像：視点A

(3)俯瞰映像



(2)手先の拡大映像：視点B

(4)危険認知用映像

(1)車載カメラ映像

平成26年 建設施工と建設機械シンポジウム 2014年11月27日

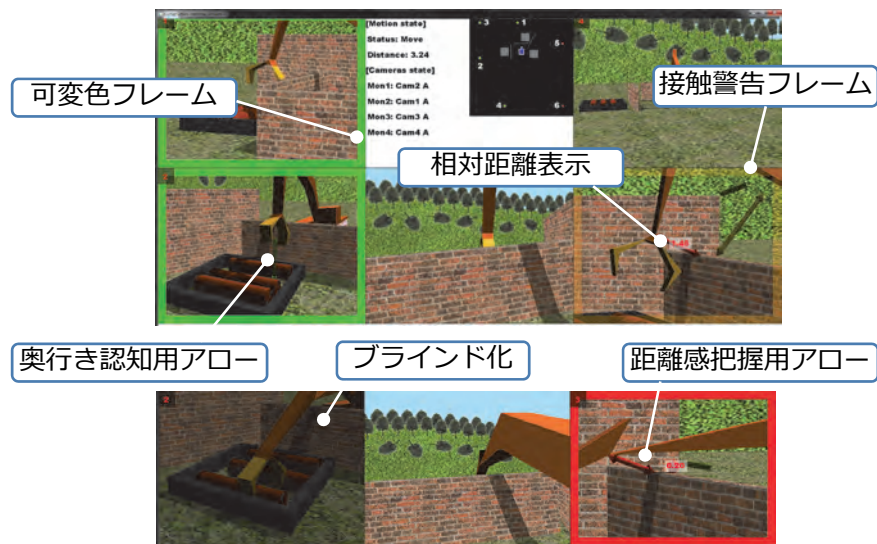
2. 注視支援のコンポーネント

	可変色モニタフレーム	手先垂直アロー	距離感把握アロー	ブラインド化
フェーズ1 状況に応じた映像選択	○	—	—	○
フェーズ2 注目領域の抽出	○	○	○	○
フェーズ3 選択・抽出領域の解釈	—	○	○	—

- **手先垂直アロー**：手先が対象物の中央に近づいたとき(3m以内)、左側の2つのモニタに出現。アローは、緑・両矢印・半透明とした。
- **距離感把握アロー**：マニピュレータが壁に近い場合(2.5m以内)、右下のモニタに出現。緑から赤へ変わっていく。距離が3.0m以下では橙、1.5m以下では赤とし、間の区間は、線形的に変化させた。最短アローには、距離の数値を出現させる。
- **可変色フレーム**：垂直アローが現れるタイミングで、左側の2つのモニタに作業支援フレーム(緑)が出現し、マニピュレータが障害物に近づく(0.8m以下)に消え、接触警告フレーム(緑)が出現する。距離が短くなるにつれて、半透明の黄色から不透明の赤へ変化する。
- **ブラインド化**：距離感把握アローが、接触警告フレームの点滅開始距離よりも小さくなった場合(0.3m以下)、左側2つのモニタが黒く半透明化する。

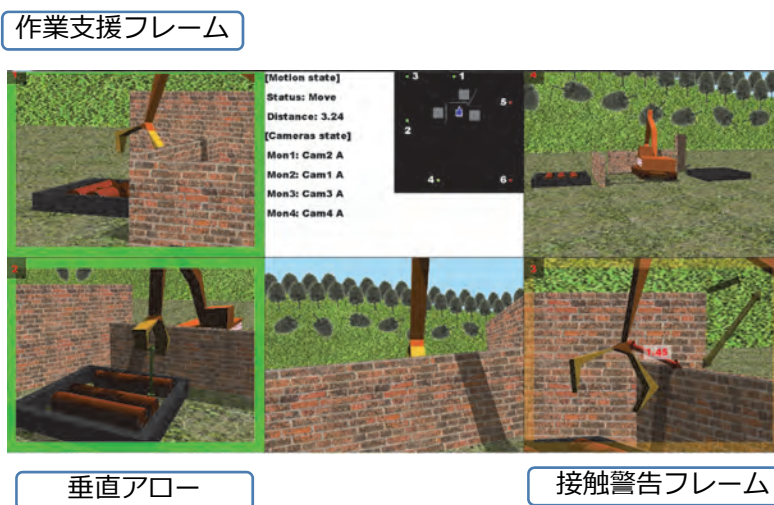
平成26年 建設施工と建設機械シンポジウム 2014年11月27日

2. 注視支援システムの開発



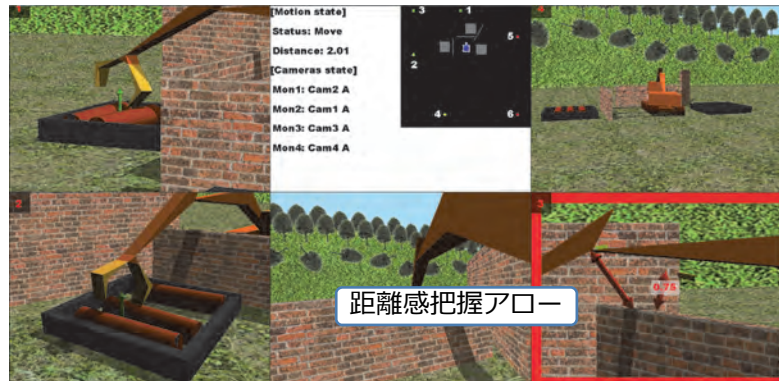
平成26年 建設施工と建設機械シンポジウム 2014年11月27日

状況1：障害物と遠い場合



平成26年 建設施工と建設機械シンポジウム 2014年11月27日

状況2：障害物に近い場合

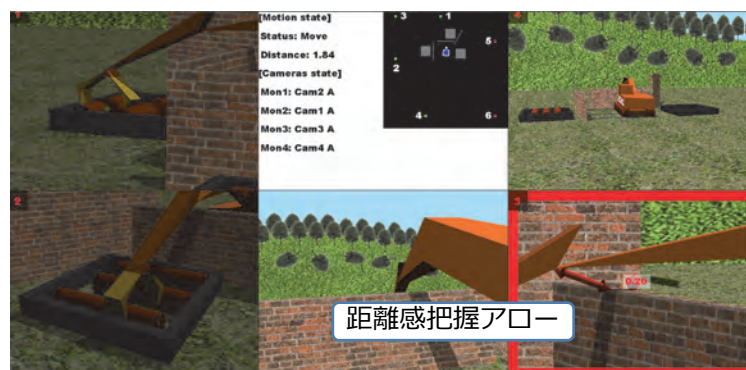


垂直アロー

接触警告フレーム

平成26年 建設施工と建設機械シンポジウム 2014年11月27日

状況3：かなり接近している場合

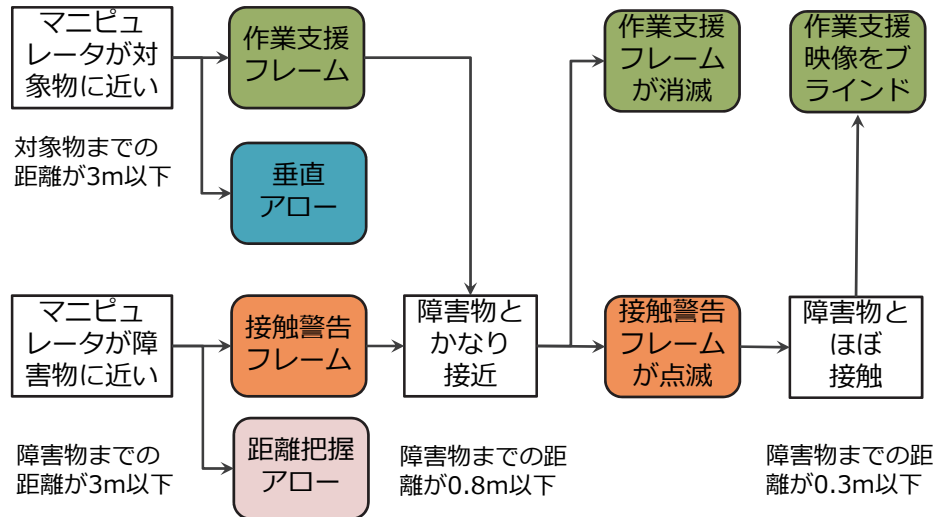


ブラインド化

接触警告フレーム

平成26年 建設施工と建設機械シンポジウム 2014年11月27日

2. 注視支援システムのフロー

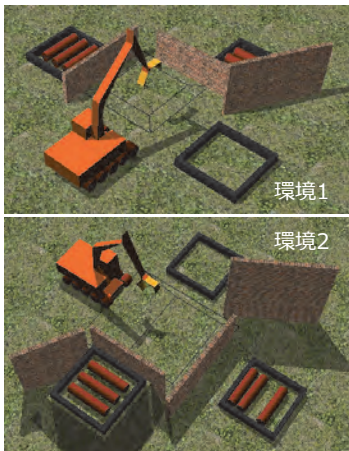


平成26年 建設施工と建設機械シンポジウム 2014年11月27日

3. 比較評価実験

- 注視支援の有無で、時間効率、安全性、作業品質、主観的な使いやすさを評価した

実験環境



実験内容

6つの物体を素早く、物体の中心を掴んで誤接触なく回収箱まで運搬する。被験者は8人の初心者とした

比較実験

注視支援の有無を評価する(各2セット)
環境1で十分に習熟後、未知環境である環境2におけるパフォーマンスを評価する

評価指標

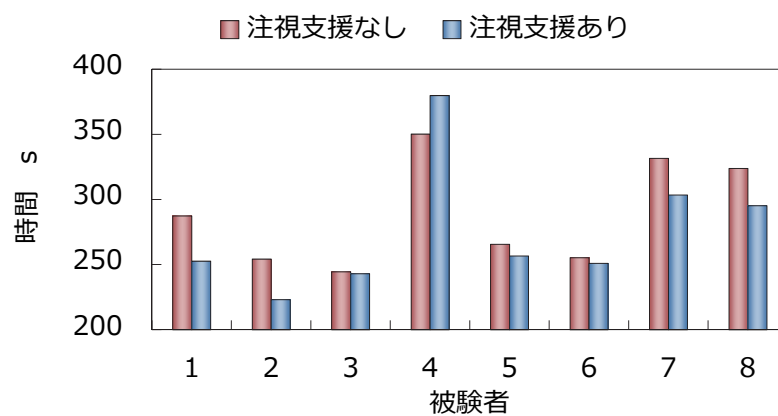
- A. 時間効率 : タスク時間
- B. 安全性・品質 : 誤接触回数・把持位置
- C. 主観評価 : アンケート
- D. 各注視項目の効果 : アンケート

平成26年 建設施工と建設機械シンポジウム 2014年11月27日

操作インタフェース

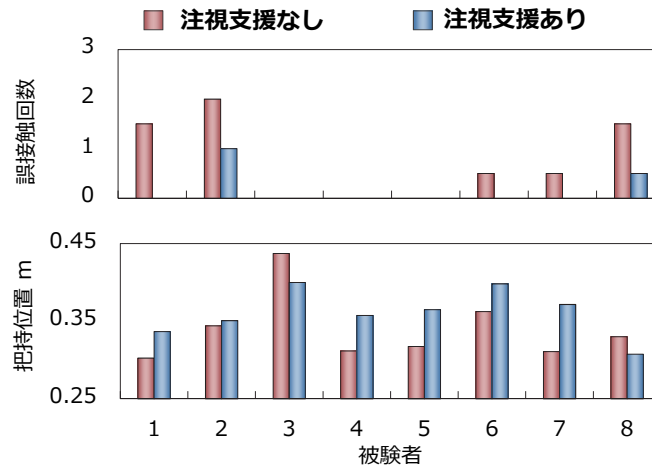


A. 作業時間



大まかな傾向としては、作業時間が短縮できる可能性が示唆された。

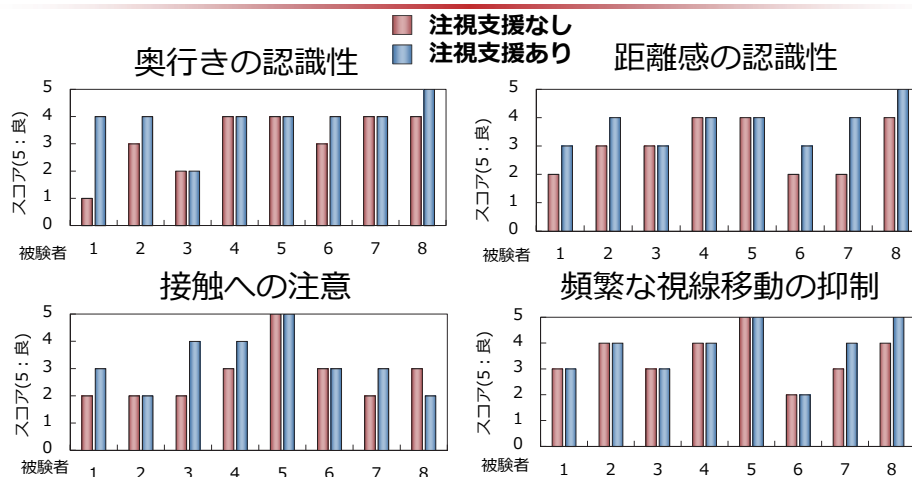
B. 誤接触回数・把持位置



誤接触に対する効果が大きく表れることが分かった。一方で、把持位置に関しては、改善するオペレータと悪化するオペレータが確認された

平成26年 建設施工と建設機械シンポジウム 2014年11月27日

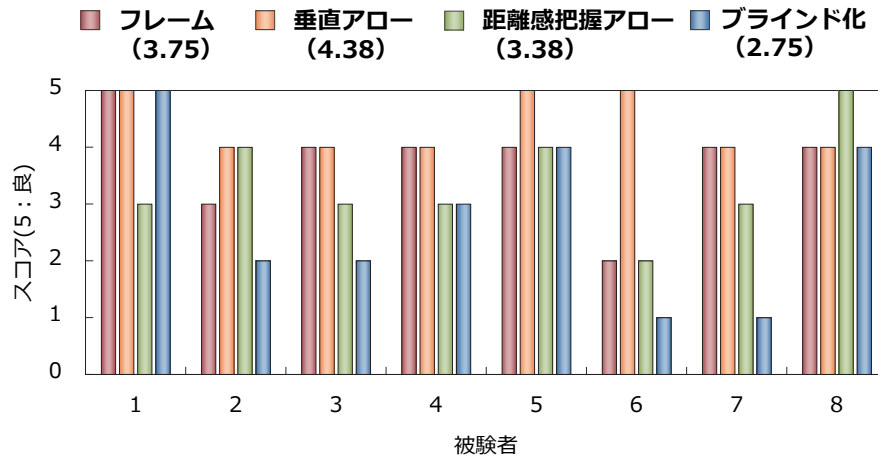
C. 主観的使いやすさ



注視支援を提供することで、奥行き感の把握性や頻繁な視線移動の抑制が実現できていることがわかる

平成26年 建設施工と建設機械シンポジウム 2014年11月27日

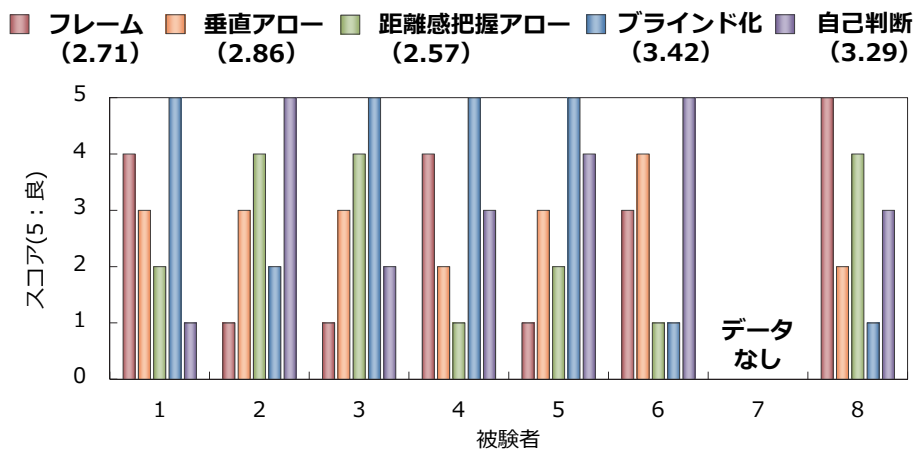
D-1. 注視支援の有用性評価



垂直アローは、奥行き認識によって有効であることが分かった。オペレータそれぞれの好みや特性によって、効果が異なることも分かった

平成26年 建設施工と建設機械シンポジウム 2014年11月27日

D-2. 注視支援の利用優先順位



強制的に視点移動を促すブラインド化が、適切に利用されていたことが分かった。また、オペレータに応じて注視支援そのものの利用態度が異なる点が明らかになった。

平成26年 建設施工と建設機械シンポジウム 2014年11月27日

まとめ

- 2012年度の研究により、環境カメラの半自動化制御手法により、計画や操作の判断に不可欠な視覚情報が多彩かつ広範に得られた一方で、オペレータの認知情報処理に関する負荷は肥大することが懸念される。
- 「どのカメラ映像のどの部分をどのように見ればよいか」といった映像の注目支援について検討した。本研究では、開発済みのVRシミュレータを用いた調査結果をもとに、注目支援手法の試作・実証を行った。具体的に、a.作業状況に応じた映像の選択、b.注目領域の抽出、c.選択・抽出領域の解釈モジュールを開発した。
- 実験の結果、注目支援により、作業時間はほぼ一定であるが、誤接触回数が大きく減ることが分かった。アンケートの結果、奥行き間の認識や頻繁な視点移動の減少、オペレータの認知負荷の軽減が可能となることが示唆された。
- 本研究で提案した「注視支援システム」では、必要な映像を当該状況に応じて適切に注目させることで、「オペレータの認知的負担を減らしつつ、作業パフォーマンスの向上」を実現できる可能性が示唆された。

平成26年 建設施工と建設機械シンポジウム 2014年11月27日

今後の展望

- オペレータを個別に分析した結果、効果の是非およびその大小が分かれること、また、注視支援の捉え方が大きく異なることが分かった。この結果をもとに、視覚支援システムのパラメータ調整を行う。
- 技術的な観点では、本年度はアングルとズーム機能を有するカメラを利用していたが、より詳細な状況把握のために、カメラの高さ方向の調整とカメラ自体の移動性も考慮することを検討している。
- カメラ制御パラメータの設定方法の確立や学習規範の導入、無人化施工における課題である(b)通信遅延対策、(c)体感情報提示に関する技術開発との融合による高度化検討、さらには、実環境での実証実験も今後必要になると考えられる。

平成26年 建設施工と建設機械シンポジウム 2014年11月27日

御静聴ありがとうございました

本研究の一部は、(社)日本建設機械化協会「平成24年度研究開発助成」，
ならびに，早稲田大学理工学研究所の支援を受けて行われました。
ここに謝意を表します。