

Ⅱ－２ 研究開発助成成果報告



複雑作業への適応を目的とした 無人化施工における車載・環境 カメラの可動性効果の検証と その半自動コントロール手法に 関する基礎的研究

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)

早稲田大学 理工学術院総合研究所 亀崎允啓2

研究背景

- **無人化施工**は、斜面での土木工事や水中での河底整備作業、1人のオペレータによる複数重機の操縦など、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。

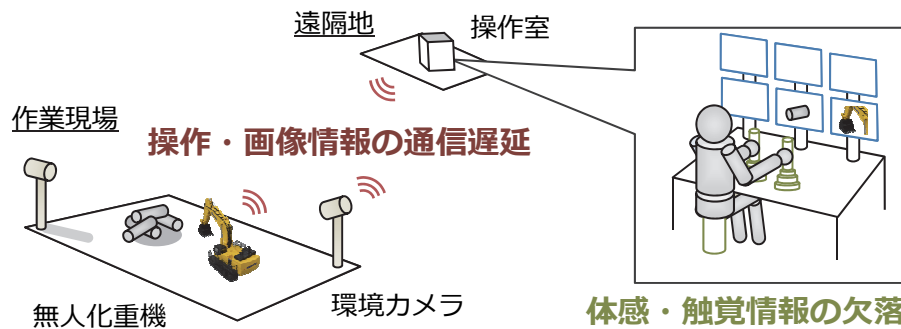
平成25年 建設施工と建設機械シンポジウム 2013年11月14日

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25年 建設施工と建設機械シンポジウム 2013年11月14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

[映像システムに関する従来研究]

- 視点・視野角の適正化：視点解析により車載カメラの適切な視野角を導出
- 可動化：1台の環境カメラで旋回時の安全確保のための方向制御

[提案するシステム]

– 環境カメラの半自動制御システム

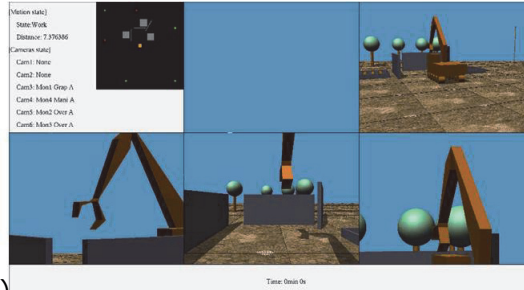
- ・ 複数の環境カメラを**作業状況に応じてカメラの方向・画角を自動制御**
- ・ **状況に適したカメラを選択して適切な制御モード**を割り当て

作業状況に応じて半自動的にカメラを制御することで、オペレータの主体性を保ちつつカメラ操作の負担を軽減→見えないがゆえの無駄な動き直しや過度に慎重な動き、疲労などの低減に寄与し、無人化施工の高度化を担う有力なツールになると考えられる

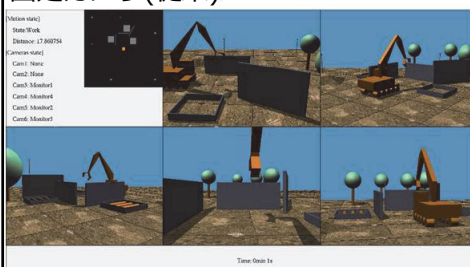
平成25年 建設施工と建設機械シンポジウム 2013年11月14日

開発した半自動制御システム

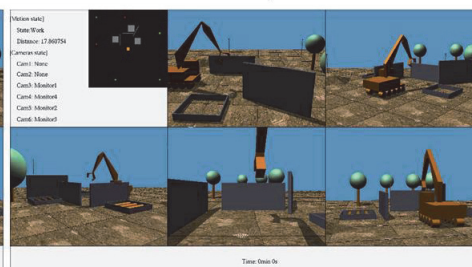
半自動制御



固定カメラ(従来)



手動制御



平成25年 建設施工と建設機械シンポジウム 2013年11月14日

研究手順

1. バーチャルリアリティ(VR)シミュレータの開発

- 基礎検討に適したVRシミュレータを評価ツールとして用いる
- 任意の位置に複数個のカメラを配置でき、物体把持や接触を再現、位置や接触力などデータ計測を行う

2. 半自動化制御手法の開発

- カメラパラメータ(ピッチ, ヨー, ズーム)の制御方法の開発を行う
- 有限個の制御モードを定義し、モニタに表示するカメラの選択と制御モードの割り当てを行う

3. 実証実験

- 解体機を利用した瓦礫撤去作業をメインタスクとする
- (A)固定(従来手法), (B)手動制御, (C)半自動制御の3つの操縦システムにおける作業パフォーマンスを評価し, その違いを考察する

平成25年 建設施工と建設機械シンポジウム 2013年11月14日

1. VRシミュレータの開発

- 任意の位置に障害物やカメラを配置できる。物体把持や接触が再現されており、接触力なども計測可能である。

[モジュール]

- A. 操作インターフェース
- B. モニタへの出力映像

操縦イメージ
x2



平成25年 建設施工と建設機械シンポジウム 2013年11月14日

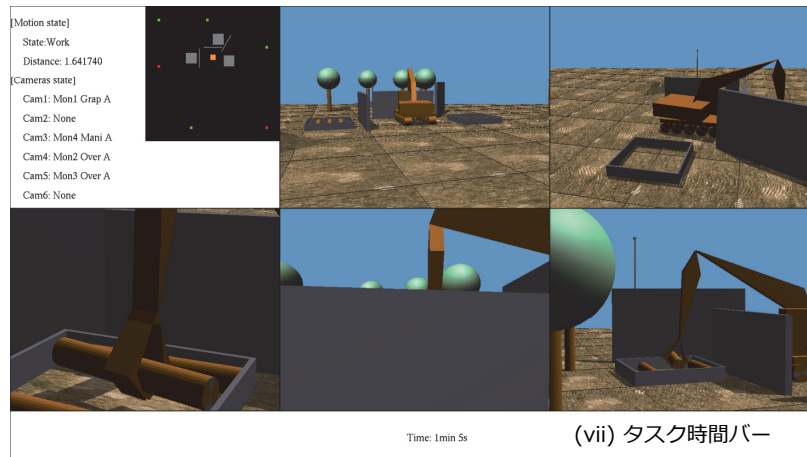
1-A. 操作インターフェース



平成25年 建設施工と建設機械シンポジウム 2013年11月14日

1-B. モニタへの出力映像

(i) 状態& 2D俯瞰モニタ (ii)環境カメラ映像 (iii)環境カメラ映像



(iv) 環境カメラ映像 (v) 車載カメラ映像 (vi) 環境カメラ映像

平成25年 建設施工と建設機械シンポジウム 2013年11月14日

2. 半自動制御手法の開発

- 有限個の制御モードを定義し、モニタに表示するカメラの選択と制御モードの割り当てを行うシステムを開発した

[機能モジュール]

- カメラロールの定義
- ロールアサインメントシステムの開発

カメラ操作をすべき状況分析

大分類	小分類	必要なデータ
移動	前進 後退 旋回	路面状況
		現場における自己位置
		周辺の障害物状況
		対象物と機体の相対距離情報
マニピュレーション	リーチング 把持 運搬 リリース	周辺の障害物状況
		対象物とグラブブルとの相対距離情報
		グラブブルの状態
		対象物の位置と姿勢

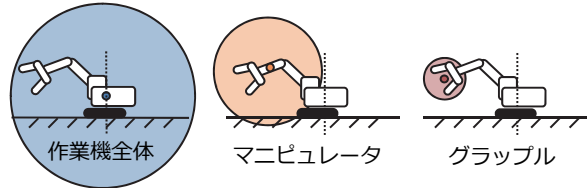
平成25年 建設施工と建設機械シンポジウム 2013年11月14日

2-A. 撮像対象と撮像モード

- カメラの向きと画角が調整されるべき状況の分析から、撮像対象と撮像モードを定義した

[撮像対象]：カメラの画角中心に捉える対象

- 作業機全体
- マニピュレータ
- グラッブル



[撮像モード]：撮像対象に対する映像コントロールの方法

- ズーム制御 : 状況に応じて画角を調整
- 位置制御 : 撮像対象を追従
- 姿勢制御 : カメラの向きと撮像対象の長手方向が直角になるように制御
- 軌道制御 : 撮像対象の移動方向に画角中心をオフセット

平成25年 建設施工と建設機械シンポジウム 2013年11月14日

2-A. カメラロールの定義

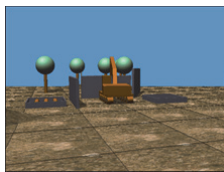
- 撮像対象と撮像モードを組み合わせ、有用性の観点から、基本的な4つのカメラロールを定義した

[カメラロール]：カメラに割り当てる制御方法

- | | | |
|-----------------|-----------|--------------|
| (a) 車体俯瞰位置制御 | : 作業機 | × 位置制御 |
| (b) 手先拡大位置制御 | : グラッブル | × 位置・拡大制御 |
| (c) マニピュレータ姿勢制御 | : マニピュレータ | × 位置・姿勢制御 |
| (d) 手先軌道制御 | : マニピュレータ | × 位置・姿勢・軌道制御 |

[各ロールの映像例]

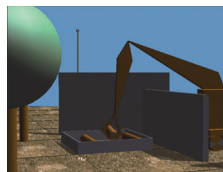
(a)



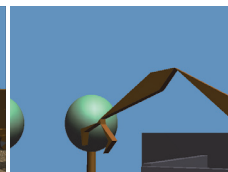
(b)



(c)



(d)



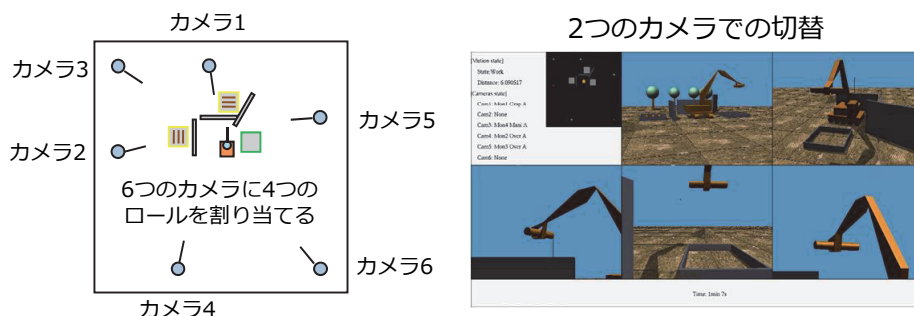
平成25年 建設施工と建設機械シンポジウム 2013年11月14日

2-B. カメラロールの割り当て

- 状況に応じて、適切なカメラに適切なカメラロールを割り当てるロールアサインメントシステムを開発した

[ロールアサインメントシステム]

- (a) ロールの担当可能性チェック
(b) カメラへのロール割り当て/切り替え

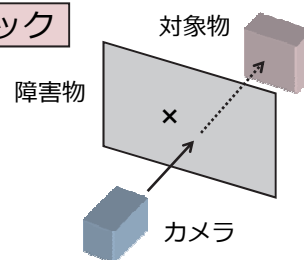


平成25年 建設施工と建設機械シンポジウム 2013年11月14日

(a) 担当可能性のチェック

A : カメラロールの担当可能性チェック

- A-1 : 対象物が可視状態であること
A-2 : カメラが制御範囲内であること
ーピッチ角度・画角



成立する場合

B : カメラロールの変更および交換

- B : カメラロールにおける各種条件を満たしていること

成立する場合

成立しない場合

担当可能性あり

担当可能性なし

平成25年 建設施工と建設機械シンポジウム 2013年11月14日

(b) ロールの割り当て/切り替え

A : 当該時刻におけるカメラロールアサイン

- A-1 : 各ロールにつき1つのカメラを割り当てる
 A-2 : 各カメラにつき1つのロールを割り当てる
 - 手先・作業腕および小さいカメラ番号を優先



B : カメラロールのリアサイン

- B-1 : Non-active cameraへのロール移動を模索する
 B-2 : カメラ全体でのロール交換を行う
- 担当できない場合 (for B-1 and B-2)
 担当できる場合 (for B-1 and B-2)

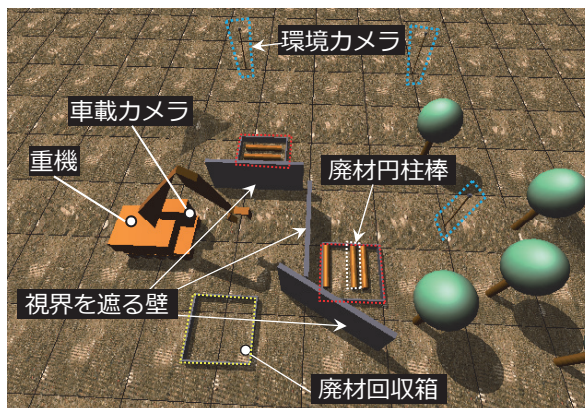
(最も近い映像を出力できるカメラにアサイン)

平成25年 建設施工と建設機械シンポジウム 2013年11月14日

3. 比較評価実験

- 固定・手動・半自動の3システムで、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4人の初心者(4セット)

比較実験

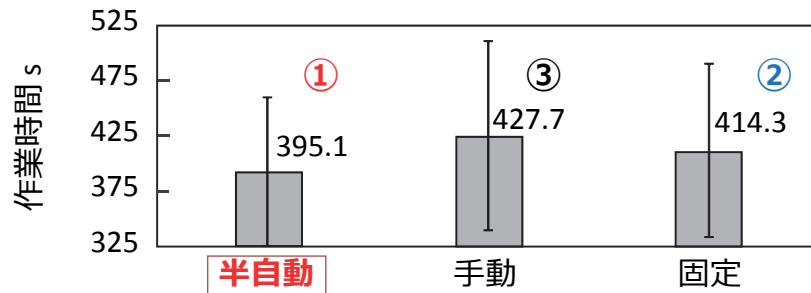
固定, 手動, 半自動

評価指標

- A. 時間効率 : タスク時間
 B. 安全性 : 把持ミス, 誤接触, 過負荷
 C. 作業品質 : 把持位置
 D. 主観評価 : アンケート

平成25年 建設施工と建設機械シンポジウム 2013年11月14日

3-A. 作業効率

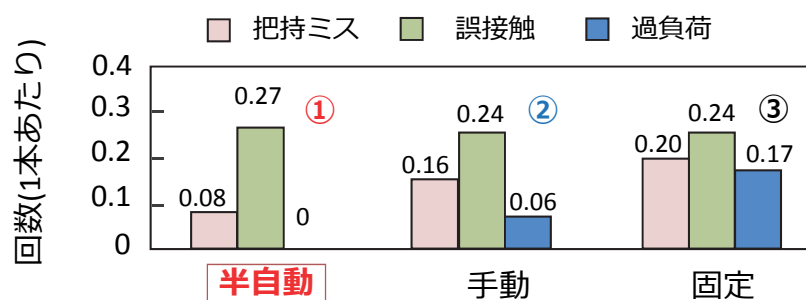


【半自動制御】作業時間が減少 ⇔ 【手動制御】固定と比べて作業時間が増加

手動によるカメラ制御では、カメラを操縦する時間が不可避となるため、作業時間が延びてしまった。半自動制御では、カメラ制御を自動で行うためカメラ操縦に費やす時間を削減できた

平成25年 建設施工と建設機械シンポジウム 2013年11月14日

3-B. 安全性

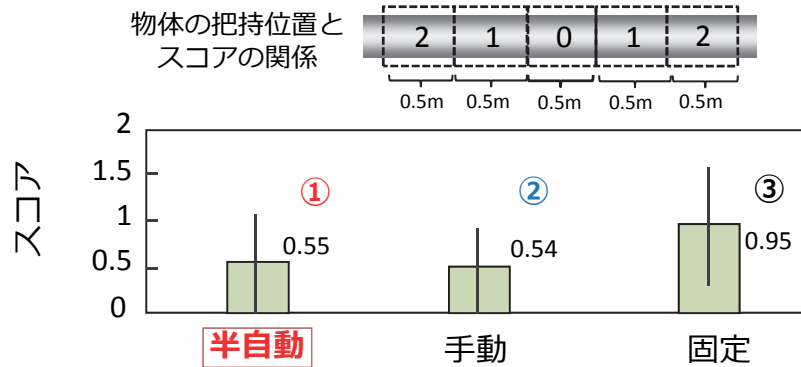


【半自動制御】誤接触回数：他のシステムとほぼ同じ、把持失敗・過負荷回数：減少

固定における物体落下は、物体の端の把持、手動では、物体の安定性を十分に確認できなかったことに起因する。半自動制御での視点は、機体の移動に伴い自動的に追従するため、誤操作を大幅に低下させられた

平成25年 建設施工と建設機械シンポジウム 2013年11月14日

3-C. 作業品質

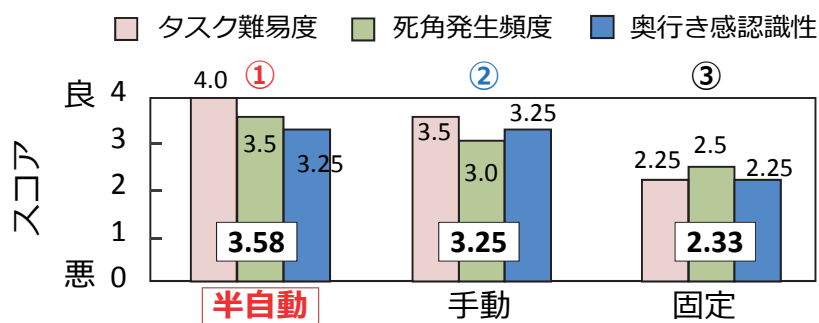


可動カメラ(手動および半自動)では、よいスコアが得られた

固定の場合では、可動カメラの場合と比べ約2倍のスコアとなっている。オペレータが望む映像を提供することで、廃材棒の中心を把持できることから、作業品質向上に寄与することが示唆された

平成25年 建設施工と建設機械シンポジウム 2013年11月14日

3-D. 主観的使いやすさ



固定よりも手動のほうが良いスコア：カメラの可動化だけでも使いやすさが向上

可動化カメラを半自動的に制御することで、死角の発生を効果的に抑え、タスクの主観的難易度が低下することが分かった。半自動制御により、オペレータの主観的な使いやすさが向上することが示唆された。

平成25年 建設施工と建設機械シンポジウム 2013年11月14日

まとめ

- 現場環境や作業内容、オペレータの操縦技能によって映像情報の性質が変わってくると考え、可動式カメラの半自動制御手法の開発を行った。
- 3つの注視点と4つの制御モードにより定義されるカメラロールとして、**車体俯瞰位置**、**手先拡大位置**、**マニピュレータ姿勢**、**手先軌道**を定義した。これらを作業状況によってシームレスに切り替え、適切なカメラに割り当てするための**ロールアサインメントシステム**を開発した。
- 固定・手動制御・半自動制御の3システムでの比較実験の結果、固定に比べ、手動を用いることで、把持の失敗や過負荷回数の減少し、物体位置関係の把握性能向上が図られた。
- 半自動制御では、オペレータが必要な映像を当該状況に応じて適切に提供することで、「**作業効率の向上と作業品質の向上の両立**」を実現でき、オペレータの主観的な使いやすさが向上することが示唆された。

平成25年 建設施工と建設機械シンポジウム 2013年11月14日

今後の展望

- 申請年度で行った基礎検討をもとに、映像提示の有用性向上に関する検討を深める。今後は、被験者の数を増やすとともに、実際の熟練オペレータでの評価実験から現場の意見を伺う。
- 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検討する。
- 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通信遅延対策・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、実環境での実証実験も今後必要になる。

平成25年 建設施工と建設機械シンポジウム 2013年11月14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23年度研究開発助成」、文科省グローバルCOEプログラム「グローバルロボットアカデミア」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。