



直感的操作を可能とする建設機械遠隔操縦システムの研究

第二報 基本環境との比較

Research on remote control systems for construction machinery that enable intuitive operation. Second Report
Comparison with the basic environment

伊勢珠皇¹⁾, 高橋秀智¹⁾

Suo ISE, Hidetomo TAKAHASHI

1) 東京工科大学 工学研究科 (〒192-0982 東京都八王子市片倉町 1404-1, takahashihdtm@stf.teu.ac.jp)

概要: ここ数年様々な要因により遠隔作業が増え,いくつかの方法が研究されているが,この研究で用いる手の動きによる操作方法の有効性の確認のために三つの操作方法を比較する。そして,確認できた遠隔操作システムの操作性改善のためにさらなる操作の容易化や肉体的疲労の軽減のために有効な視覚情報や他の感覚,条件を検討し効果を検証する。仮想空間で簡単な作業をしつつ,従来より操作感が改善されるか実験し作業のスコアや時間,正確さを評価対象とした。

キーワード: テレプレゼンス,遠隔操作,自己投射

1. 研究背景

ここ数年,通信技術の発展やコンピュータの性能向上,新型コロナウイルスの蔓延によって,従来その場に行っていた作業を遠隔地から操作することが増えてきている。それに伴って,様々な遠隔操作システムが作られているが,ほとんどのものはゲームのコントローラーや実機を模倣した操作方法を採用している。

これらは初めて触る人にとって,慣れの少ない操作方法であり技術獲得や操作感覚を覚えるのに訓練が必要となる。よって人手不足などの問題のある今,さらに操作技術や感覚を身に着ける時間がさらに短くて済むシステムが求められている。本研究の目的は建設機械の遠隔操作システムにおける操作性向上のために,現実で使用されている操作方法と提案したい操作方法の環境を整備し操作感を比べ,検証しつつ将来的に操作感改善や精密動作の達成のために錯覚や自己投射を利用して,そこで有効となる視覚情報やその他の感覚,条件を検討することである。

また,建設機械を選択したのは現在実用化がされている遠隔操作システムの中で改良の余地と実用化による効果が大きいと考えられたからである。

2. Open Construction Simulator について

2.1 Open Construction Simulator とは

OCS とは Open Construction Simulator[1]の略称である。以下 OCS と省略する。ゲームエンジンの Unity[2]をベースに開発がされており重機を使った掘削や土砂運搬だけでなくシミュレーション環境も提供できる。OCS ではバックホ

ー,ブルドーザー,トラックの三つを操作できる。今回はバックホーをメインに操作していく。地面を掘削すると砂粒扱いの小さいポリゴンが生成されて,荷台に積むことや別の場所に置くことができる。この演算では AGX Dynamics[3]が使用されている。そして,それぞれの車両では一人称と三人称の視点を選ぶことができる。



図 1 実験に使用する OCS の様子

(Open Construction Simulator より <https://field-robotics-japan.info/ocs>)

2.2 手を用いた OCS の制御システム

現状の制御システムではゲーム用コントローラーや実機模倣コントローラー(ジョイスティックコントローラー)を使用しているが,私は手の動きを読み取ることによる遠隔操作システムの提案をしたいと考えていて,そのために Leapmotion[4]による手の動きを読み取ることやシミュレーター内のショベルカーの PACKET を動かすために逆運動学を使用することも考えている。逆運動学を使用することで先端の位置から姿勢が判明するためプログラムがし

やすくなることを考えている。

3. 操作感に関する実験

3.1 実験環境

仮想空間において被験者に仮想空間上の建築機械を操作してもらいその操作感を確認する。この時、操作方法はゲームコントローラー式、ジョイスティックコントローラー式、M5stickC による直感式の三つである。操作のやりやすさを簡単なゲームによるスコアやアンケートを用いて評価する。今回は Leapmotion で使用するためのプログラムの修正が終わらず実験が間に合いそうにないので M5stickC[5] というものを使用して実験を行うことにした。

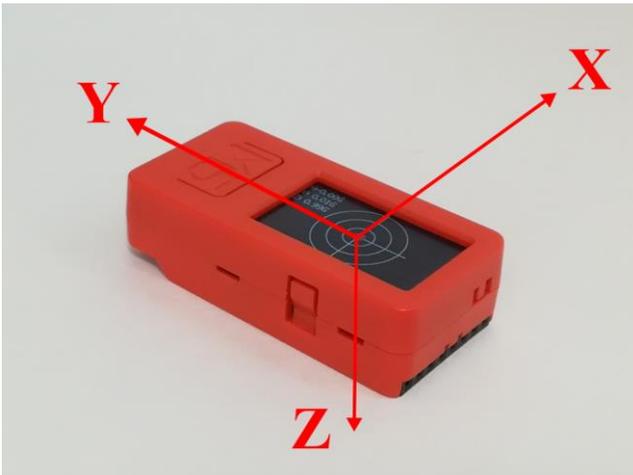


図 2 M5stickC の座標系

3.2 実験環境

被験者は ゲームコントローラー、ジョイスティックコントローラーではキー入力が、Leapmotion では自身の手や指の状態を読み取られる予定だったが M5stickC に変更されたことにより手で持ってもらうことによって操作することにした。それが PC 内の Open Construction Simulator を通して仮想空間内にある建設機械が表示され、モニターを越しに視覚的に情報が伝わる。この仮想空間は Unity で作成されていた。

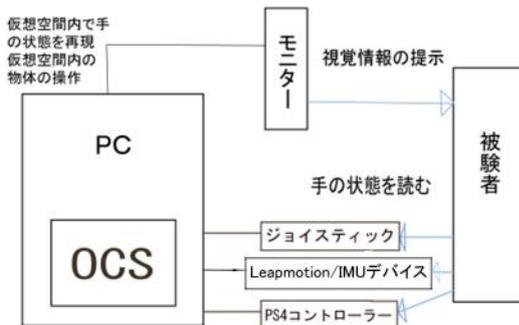


図 3 システム全体図

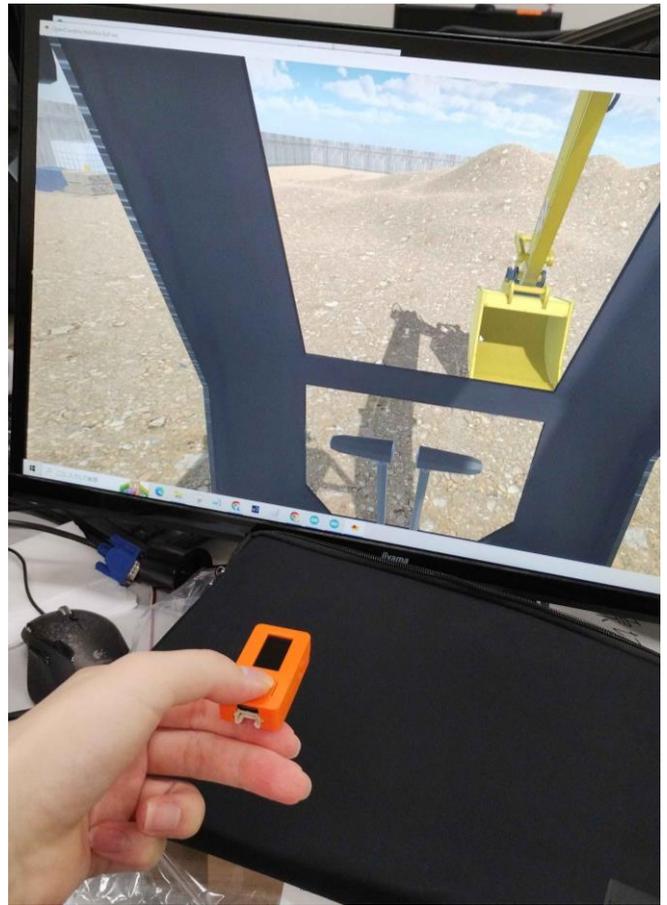


図 4 実験の画像

3.3 使用機材

- ・Playstation4 のコントローラー:1 つ
- ・THRUSTMASTER T.Flight Stick X:1 基
- ・M5stickC:1 つ

3.3.1 Leapmotion のコントローラー化

Leapmotion はデフォルトではウェブカメラとして認識されるためそのままではコントローラーとして使用することができない。そのため、まずはコントローラーとして使用できるようにする。

ESP32S3 と Processing を使用する。データの移動する順番としては、

Leapmotion→Processing→ESP32S3

の順番である。このデータ送信によって、手の X,Y,Z 座標に加えてヨー、ロール、ピッチ角をそれぞれ出力して手の姿勢が取れるようにした。M5stick でも同様に座標と姿勢をとっている。

3.3.2 ジョイスティックコントローラーの操作

今回使用するジョイスティックコントローラーと OCS との割り当ては、そのままでは対応しないため一度キーボード出力を挟んでから実行している。

表 1 ジョイスティックによる操作方法

	joystickのキー
決定	12
基部回転	ジョイスティック左右傾け
バケット傾け	1/4
根元上下	5/6
第一関節上下	ジョイスティック前後傾け

4. 結果と考察

現在の結果としてはゲームコントローラーとジョイスティックコントローラー、M5StickC の三つにおいて実験を行うことができた。OCS 上で簡単な作業をしてもらい、そのかかる時間を計測した。そこで操作性でどのようなタイム差が出るのか、慣れによる時間の短縮はどのくらい影響が出るのかを実験した。

表 2 のゲームコントローラーの結果を「A-回数」、ジョイスティックコントローラーの結果を「B-回数」、M5Stick の結果を「C-回数」と表記すると下記のようになる。

表 2 実験結果

コントローラー/被験者	一人目	二人目	三人目	四人目	五人目	平均
B-1(s)	22.58	44.99	16.12	35.09	19.35	27.626
B-2(s)	18.93	25.14	13.56	24.26	16.87	19.752
B-3(s)	17.95	21.89	12.51	13.33	13.01	15.738
A-1(s)	16.84	14.35	22.83	42.37	23.85	24.048
A-2(s)	10.39	11.82	13.31	10.88	15.2	12.32
A-3(s)	10.29	13.9	13.93	13.08	13.58	12.956
C-1(s)	70.62	58.39	95.82	51.31	45.04	64.236
C-2(s)	70.58	46.03	60.01	47.21	59.21	56.608
C-3(s)	67.38	39.93	50.52	62.15	43.44	52.684

三つのコントローラーを用いたとき、回数を重ねるごときにかかった時間は短くなることが確認された。三つの方法を比較するとゲームコントローラーとジョイスティックコントローラーの二つの効果は同じくらいであることが示された。一方 M5stickC の慣れによる時間短縮は比較的小さかった。ただし、M5stickC による操作はシミュレーション上の操作速度が遅いのもあるためその影響も考えられる。また、M5stickC による操作時間の短縮効果は人によって大きく異なっていて、これは普段しない操作方法に慣れる時間の差があると考えられる。最初のタイムがゲームコントローラーのほうが短いのは日頃使用している被験者が多いことが考えられる。

表 3 アンケート結果

普段PS4コントローラーのようなものを使うか	使わない	使う	使う	使う	使わない
普段航空機シム用コントローラーを使うか	使わない	使わない	使わない	使わない	使わない
普段M5stickCのようなコントローラーを使うか	使わない	使わない	使わない	使わない	使わない
どちらが操作しやすかったか	PS	M5	FS	FS	FS

また、アンケートを取った時、操作感では FS と書かれたジョイスティックコントローラーが最も評価が高かった。

ゲームコントローラーと M5Stick C は各一人ずつだったがジョイスティックコントローラーを選んだ人の中にも M5stickC と迷っている声も聴かれた。

5. 結果を受けてこれからの展望

今回の結果を受けてまず、今回行うことができなかった Leapmotion を用いた操作方法を実験して同じように実験の時間を測ることを考えた。そして、実験を少人数でしか行うことができなかったのだから多くの人数で実験を行うことを考えている。

これによって四つの操作方法を比較して、どの操作方法が一番操作しやすいのかを検討する。そして M5stickC と Leapmotion を用いた操作方法の改善点の発見やより良い直感的な操作方法である方法を検討すること、視覚情報以外の刺激を用いて操作感に変わりがあるのかや、自己投射を用いてよりよい操作感を提供できるようにしていくことを考えている。

5.1 関連研究

実験結果を発展させて自己投射を応用して操作性を向上するために関連研究を調査した。

東京大学の金谷らの研究[6]によるとラバーハンド錯覚は他者から刺激を受けた際に起こるケースが多く確認されていたが自ら刺激を与えることによってもラバーハンド錯覚が起こることが確認された。

彼らはラバーハンド錯覚が生じた時の身体所有感覚は他者刺激、自己刺激に関わらず同時に与えられる視覚情報とのつながりによって保たれていることや、視覚だけではなく複合的な感覚も伴うことを示し、ラバーハンド錯覚が手の身体所有感覚に重要な示唆を与えるものであると結論付けている。

また、視覚だけでなく触覚情報を操作させることで疑似触覚を感じさせるという Pseudo-haptics という錯覚を利用しようと考え調査したところ、東京大学の子系ら[7]はその錯覚の安定性の向上を狙ってアバターに対する身体所有感を変化させたときの効果を測定する実験を行っていた。そこでは、身体所有感の構成要素の内「受容成分」と「操作成分」が錯覚効果との間に正の相関を有していたため身体所有感は Pseudo-haptics に影響する因子であることが示されていた。これによって重量を疑似的に感じさせることができれば建築機械の先端部分のフィードバックに利用してさらに操作感を上げられる可能性が考えられる。

6. むすび

実際に直感的に動かせるデバイスを使用して建設機械を動かすときに従来の操作方法と比較して実際に使用に耐えるのかを調べなければならない。今回の実験では三種類の操作方法で軽い操作とアンケートによる操作感の確認により M5stick を用いた操作方法の利点とほかの操作方法との比較でさらなる改善点を調査した。結果として M5stickC による操作ではある程度操作がしやすいという声は聞かれたがスコアとしては三つの操作方法の中で一番遅く、プログラムの改善点も発見できた。Leapmotion による目標としている直感的操作もできるようにしていきたいとも考えている。

今後、調査によって判明した改善点を修正するために自己投射や自己所有感など錯覚による効果などを活用することを検討していく。また、実際の機械に近い設備で実験することも検討している。

参考文献

- [1] Open Construction Simulator
<https://field-robotics-japan.info/ocs>
- [2] Unity <https://unity.com/ja>
- [3] VMC motion technologies 株式会社 “建設機械・土木工事・土壌シミュレーション”
<https://www.vmc-motion.com>
- [4] Ultraleap Leapmotion
<https://www.ultraleap.com/product/leap-motion-controller/>
- [5] M5stickC
https://docs.m5stack.com/en/core/m5stickc_plus
- [6] 金谷翔子, 横澤一彦, “手の身体所有感覚とラバーハンド錯覚” バイオメカニズム学会誌, Vol. 39, No.2 2015
- [7] 子系卓, 伴祐樹, 割澤伸一, “アバターへの身体所有感がPseudo-haptics 効果に与える影響の検討” 第 27 回バーチャルリアリティ学会大会論文集 1B5-5 2022 年 9 月