

# 熟練オペレータによる油圧ショベルの掘削作業解析 —シミュレーションによるスキル解析—

## Analysis of Skillful Hydraulic Excavator Operation -Skill Analysis based on Simulation-

○学 境田 右軌 (東大) 正 中後 大輔 (電通大)  
正 川端 邦明 (理研) 正 浅間 一 (東大)

Yuki SAKAIDA, The University of Tokyo, sakaida@race.u-tokyo.ac.jp  
Daisuke CHUGO, The University of Electro-Communications  
Kuniaki KAWABATA, RIKEN  
Hajime ASAMA, The University of Tokyo

In recent years, unmanned operation systems for the excavator are required in order to realize safety operation under bad environmental condition for human operator and some systems are already developed. However, it is difficult to realize effective operation utilizing such systems. In this paper, we described to examine to extract operator's skill for controlling unmanned hydraulic excavator. We are comparing the operation of skillful operator with non-skillful operator and discuss about the result for modeling of operator's skill. Since these results, we have investigated that skillful operator is tracing uniform excavation trajectory with quick moving and it causes the efficient operation.

**Key Words:** Hydraulic excavator, Unmanned control, Skill extraction

### 1. 緒言

一般に、道路工事やビル建築では、その下準備として、油圧ショベル等の建設機械による土面(どめん)の掘削作業が必要である。掘削作業現場では、しばしば地面の傾斜やぬかるみ等で足場が不安定である環境や、建設機械の排気がかもるトンネル内等の劣悪な環境、さらに周囲の崩落の危険性がある環境で作業しなければならないことがある。このような環境で建設機械を操作すると、オペレータを巻き込んだ事故等が発生する可能性がある。そのため、建設機械の無人化技術が求められている。近年、遠隔操作による無人化手法が研究され[1][2]、一部は実用化されているが、これらのシステムでは、オペレータは現場に設置したカメラ等による映像を基に遠隔操作を行うため、実際の作業場所の確認しながら作業することが困難である。したがって、単位時間当たりの作業効率は、オペレータが直接建設機械に乗り込んで操作する場合に比べて低下する。一方、油圧ショベル自身を自律化することによる無人化手法が考えられる。自律化手法は、限定した状況において適応性を高めるように設計される。しかし、あらかじめ想定していない状況に対しては対応が困難であるため、逐次状況が変化する掘削作業には適用が難しい。これらに対して熟練オペレータは、経験に基づいて操作技術を獲得し、常に適応的かつ効率的な作業を実現しているものと予想される。

そこで本研究では、熟練オペレータの操作方法を解析することで操作技術を抽出し、それをとり入れた建設機械の無人制御システムを開発することを目的とする。Fig. 1に著者らが提案するシステムの概念を示す。

著者らはこれまでに、オペレータ操作時の油圧ショベル各部の動作データ計測を行うシステムの構築と実機実験から収集したデータ、収集データから得られた知見について報告した[3][4][5][6]。本稿では、収集した実験データから得られた知見をまとめるとともに計算機シミュレーションによって解析し、効率性に関する熟練オペレータの技術を抽出する。

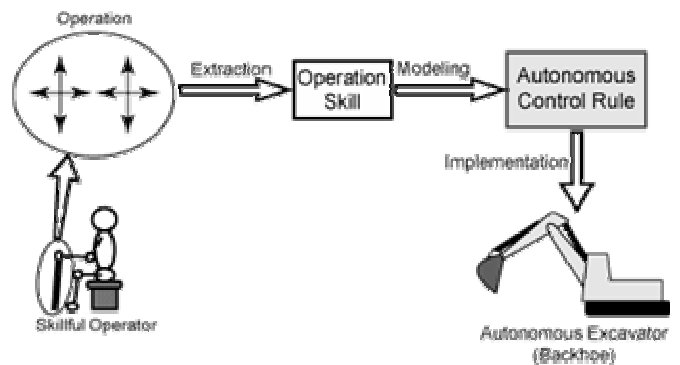


Fig. 1 An approach of our study

### 2. 実験概要

本研究では、油圧ショベルとしてバックホウを想定する。バックホウは冗長自由度系ではないため、ブーム、アームおよびバケットの各先端座標はバケットの姿勢によって一意に定まる。そのため、熟練オペレータと未熟練オペレータの操作技術の差はバケット軌跡に表れるものと考えられる。したがって、熟練オペレータと未熟練オペレータによるバックホウ操作時のバケット軌跡についての実作業計測実験を行い、得られた結果について考察する。

#### 2.1 実験条件

本実験では、熟練オペレータ(経験 10 年以上)と未熟練オペレータ(経験 10 年未満)両者に、3×4[m]の矩形を 1[m]の深さで掘削するように指示して作業を行ってもらった。計測データ収集は、これまでに構築した計測システムを用いた[3]。

#### 2.1 計測実験

実験は、以下の手順で行った。

- ・ オペレータが作業環境の任意の位置にバックホウを移動させ、初期位置を決定
- ・ 合図後、オペレータは掘削作業を開始。作業中、バックホウ位置はオペレータの判断で任意に移動させてよい

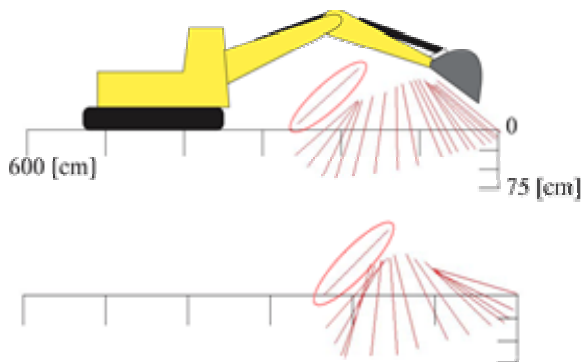
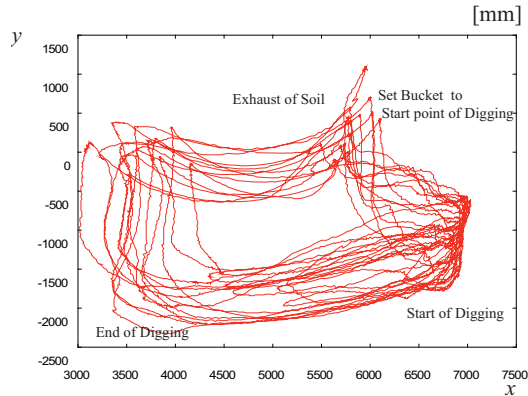


Fig.2 Trajectory of the bucket by skillful operator

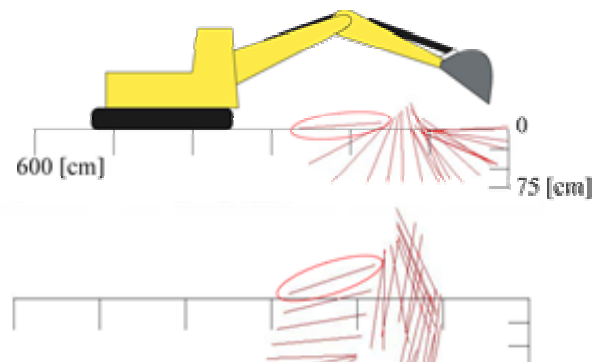
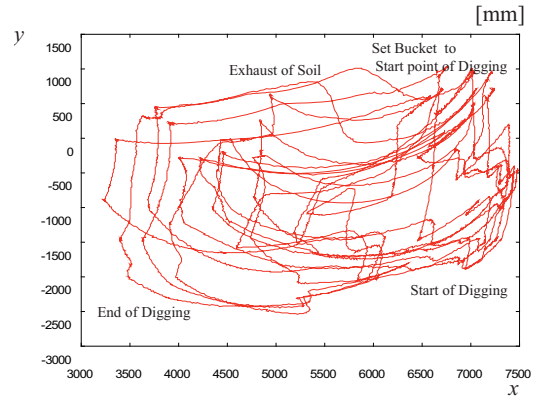


Fig.3 Trajectory of the bucket by non-skillful operator

- ・ バケットを下ろし、オペレータが合図をした時点で作業終了

作業内容は、掘削および放土を繰り返す。今回使用したバックホウは運転席が本体の左側に位置しているため、場所の確認がしやすい左旋回で、自由な位置に放土してもらった。

### 3. 実験結果

両者とも作業開始から掘削目までは整形などをせずに純粹に掘削作業を行っていた。本稿では、掘削作業に注目するために8掘削目までのバケット軌跡(アーム先端とバケット先端を結ぶ直線)を対象とし、両者のバケット軌跡を熟練オペレータに関して Fig.1, 未熟練オペレータに関して Fig.3 に示す。

非熟練オペレータが掘削順序、掘削場所によって軌跡が一意に定まらないのに対し、熟練オペレータは掘削順序を問わず、いつでもほぼ一意の軌跡で掘削を行っていることが確認できる。熟練オペレータは一意の軌跡で掘削を行うため、バケットに入る土の量が毎回一定であり、どのように掘り進めていくべきかプランニングがしやすいものと思われる。また一意の軌跡での掘削であるため、操作レバーの操作シーケンスや操作量も一定であり、熟練オペレータは一般的には複雑な操作を単純化しているものと思われる。

両者のバケット引き上げ時のバケット面と地面のなす角の平均を比較した結果、熟練オペレータがおよそ37 [deg]なのに対して、未熟練オペレータはおよそ22 [deg]であった。バケット引き上げから放土するまでの作業は、直接掘削作業を行っていないため、できるだけ作業時間を短くすることが望ましい。熟練オペレータは、バケット引き上げ時にバケットを動かす角度を小さくして速やかに放土に移行している。結果的に、掘削作業時以外の作業時間を短縮することで、作業全体の効率化を図っているものと推察できる。

### 4. まとめ

本稿では、熟練オペレータの作業効率と同等の性能を実現する建設機械の無人制御システム構築の基礎となる、熟練オペレータの操作技術を抽出するために、実作業によるバケット軌跡から未熟練オペレータと熟練オペレータの操作の違いを比較した。結果として、熟練オペレータによる掘削作業時以外における無駄のないバケット操作が、効率的な作業の一因であることを確認した

### 謝辞

本研究の実験は、(独)土木研究所の協力とともに行いました。同研究所の山元弘氏、山口崇氏に厚く御礼を申し上げます。

### 文献

- [1] 西沢, 神崎, 大浦: “GPSを用いたコンクリートダム無人化施工法”, 応用測量論文集 10 巻, 日本測量協会, pp.11--15, 1999.
- [2] フジタ: “プレスリリース 雲仙普賢岳・水無川で無人化施工方法提案競争の防災ダムを受注”, [http://www.fujita.co.jp/release/topicnews/T2002/topicNews2002\\_1004.pdf](http://www.fujita.co.jp/release/topicnews/T2002/topicNews2002_1004.pdf), 2002.
- [3] 境田, 羽田, 川端, 嘉悦, 浅間: “熟練オペレータによる油圧ショベル操作の解析”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2005, 2P1-S-054, 2005.
- [4] 境田, 中後, 川端, 嘉悦, 浅間: “熟練オペレータによる油圧ショベル操作の解析”, 日本ロボット学会学術講演会 2005, 2005.
- [5] SAKAIDA *et al.*: “The Analysis of Exacavator Operatin by skillful operator”, Proceedings of ISARC 2006, pp.543-547, 2006.
- [6] 境田, 中後, 川端, 嘉悦, 浅間: “熟練オペレータによる油圧ショベルの掘削作業解析 —作業効率を向上させるスキルの抽出—”, 第7回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 3M2-4, 2006.