

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—

○境田 右軌^[1], 中後 大輔^[2], 川端 邦明^[3],
嘉悦 早人^[3], 浅間 一^[1]

^[1]東京大学, ^[2]電気通信大学, ^[3]理化学研究所

The Analysis of Skillful Hydraulic Excavator Operation —Extraction of the Skill for efficient operation—

○Yuki SAKAIDA^[1], Daisuke CHUGO^[2], Kuniaki KAWABATA^[3],
Hayato KAETSU^[3], Hajime ASAMA^[1]

^[1]The Univ. of Tokyo, ^[2]The Univ. of Electro-Communications, ^[3]RIKEN

Abstract: 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.

1. 緒言

道路工事やビル建築等の現場では、油圧ショベルが多く用いられるが、これらの作業現場ではしばしば不安定な足場、トンネル内、周囲の崩落の可能性等、劣悪な環境で作業しなければならないことがある。そのため、油圧ショベルの無人化施工技術が必要とされている。近年、遠隔操作による無人化施工技術が一部は実用化されているが^{[1][2]}。これらのシステムは、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、作業場所を詳細に確認することが困難である等の理由から、作業効率が低下する。一方、自律化による油圧ショベルの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。

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、収集したデータについて報告した^{[3][4][5]}。本稿では、未熟練オペレータと熟練オペレータによる油圧ショベルの操作の違いを、実作業の計測データからのバケット軌跡によって比較し、効率性に関する熟練オペレータの技術を抽出する。

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]。

2.2 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
- ・ 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。

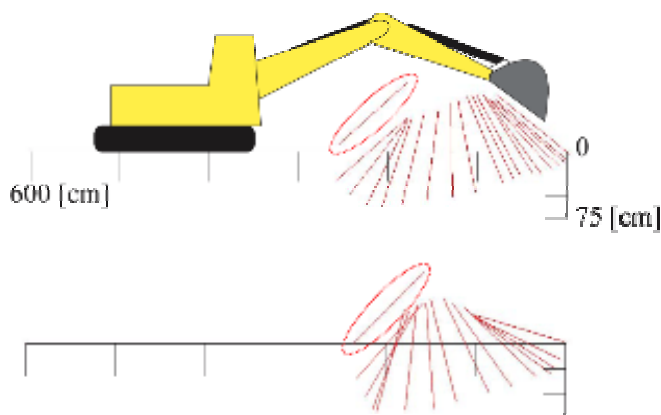


Fig.1 Trajectory of the bucket by skillful operator

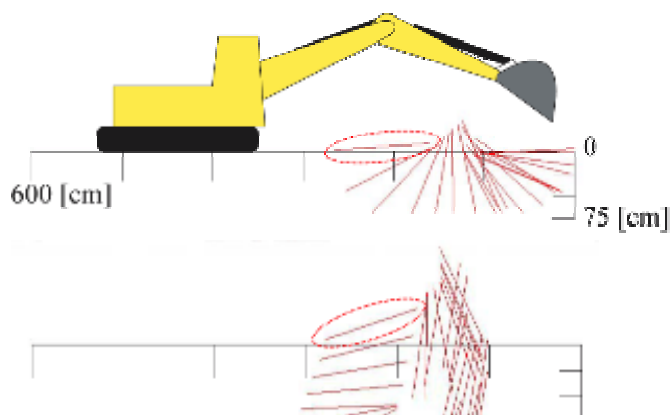


Fig.3 Trajectory of the bucket by non-skillful operator

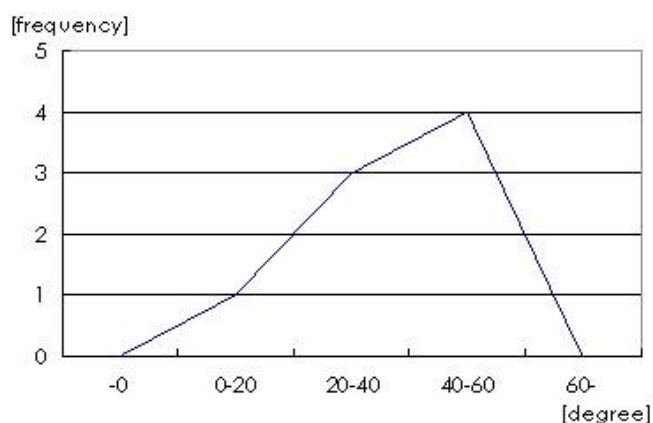


Fig.2 Frequencies and relative angle between bucket and ground by skillful operator

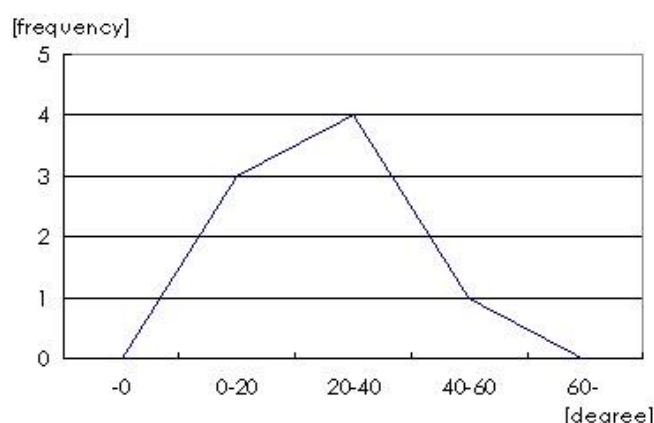


Fig.4 Frequencies and relative angle between bucket and ground by non-skillful operator

3. 実験結果

両者とも作業開始から数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、バックホウのブーム、アームおよびバケットの中心を通る矢状面上に、0.5[sec]毎に投影した図の一例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。また、1掘削終了後のバケット引き上げ時の、バケット面と地面のなす角度とその頻度を示したものを、熟練オペレータに関して Fig.2, 未熟練オペレータに関して Fig.4 に示す。

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およそ 37 [deg]なのに対して、未熟練オペレータはおおよそ 22 [deg]であった。頻度のピークも、未熟練オペレータは 20-40[deg]に対して、熟練オペレータは 40-60[deg]となっており、より角度を大きく保ってバケットを引き上げていることが確認できる。

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。

参考文献

- [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, 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 Excavator Operatin by skillful operator”, Proceedings of ISARC 2006, pp.543-547, 2006.