

熟練オペレータによる油圧ショベル操作の解析

境田 右軌(東大) 中後 大輔(東大IML) 川端 邦明(理研)
嘉悦 早人(理研) 浅間 一(東大)

The Analysis of Skillful Hydraulic Excavator Operation

*Yuki SAKAIDA(Univ. of Tokyo), Daisuke CHUGO(IML, Univ. of Tokyo),
Kuniaki KAWABATA(RIKEN), Hayato KAETSU(RIKEN),
Hajime ASAMA(Univ. of Tokyo)

Abstract— Until now, some unmanned operation systems for hydraulic excavator 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. Some experimental results are analysed and we discuss about the result.

Key Words: hydraulic excavator, autonomous control, operation skill, skill extraction

1. はじめに

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。このような掘削作業現場は、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、建設機械の排気がこもるトンネル内等の劣悪な環境、さらに周囲の崩落の可能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。そのため近年、建設機械の遠隔操作技術が研究され、一部は実用化されている [1][2][3]。これらのシステムは、オペレータは建設機械に搭載されたカメラによる映像を基に遠隔操作を行うが、実際の作業場所の足場、土質(どしつ)および操作時の反力等の確認ができないため、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。したがって、オペレータが直接建設機械に乗り込んで操作した場合と同程度の作業効率を達成できる、建設機械の無人化技術が求められている。

本研究では、効率的な作業を遂行することができる熟練オペレータの操作方法を解析することで効率的な油圧ショベル操作スキルを抽出し、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している。

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、収集したデータ結果について報告した [4]。本稿では、無人制御システム構築のために必要不可欠な、熟練オペレータの操作スキル抽出を行うために、非熟練オペレータと熟練オペレータの操作の違いを計測データより比較する。

2. 熟練オペレータの操作スキル抽出

施工手順のひとつである掘削作業は、主に油圧ショベルを用いて行われる。一般的に掘削作業は、油圧ショベルの操作系が複雑であるため、オペレータの熟練度

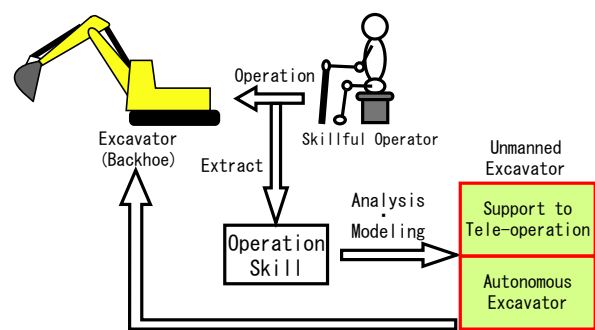


Fig.1 An Approach of our study

によって作業効率が大きく左右される。これまでの熟練オペレータへのインタビューによると、掘削作業は、オペレータの経験に基づいて、常に奥行に対する広さ優先で掘削することがわかっている。この理由は、単位時間あたりの作業効率がよくなるためであるが、このような熟練オペレータの操作スキルを模倣することで、効率的な油圧ショベルの無人化制御が可能であると考えられる。Fig.1に本研究のアプローチを示す。

本稿では、熟練オペレータの操作方法を解析し、作業効率を向上させる操作要因を抽出するため、熟練オペレータと、一般的に作業効率が悪い非熟練オペレータの操作を比較する。特にここでは、熟練オペレータと非熟練オペレータの操作スキルの差はバケットの先端軌跡に表れるものと仮定し、実験を行い結果について考察する。

3. 実験概要

ここでは、熟練オペレータと非熟練オペレータによる油圧ショベル操作時のバケット軌跡計測実験について述べる。

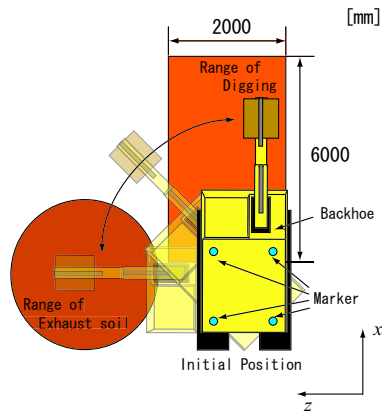


Fig.2 An environment of digging work

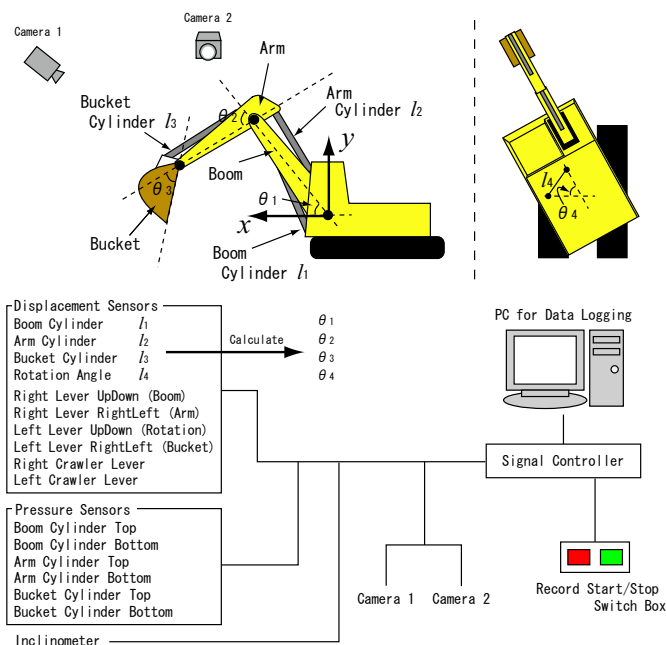


Fig.3 Configuration of measurement system

3.1 実験条件

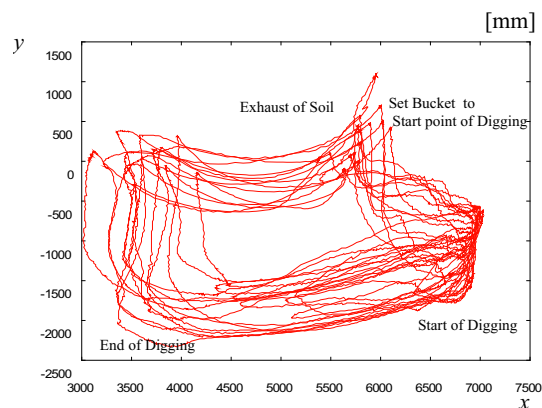
本研究では、施工現場でよく用いられる油圧ショベルのひとつであるバックホウを操作対象とする。本実験では、熟練オペレータ（10年以上のバックホウ操作経験者）と非熟練オペレータ（10年未満のバックホウ操作経験者）の両者に、Fig.2のような作業環境でバックホウの操作を実施させた。2節で述べたとおり、熟練オペレータは奥行に対して広さ優先で作業を行うことがわかっている。Fig.2に示す作業環境は、一回の掘削で奥行範囲の全てを掘削することが不可能であるため、熟練オペレータと非熟練オペレータの操作の差が大きく表れるものと思われる。

3.2 計測システム構成

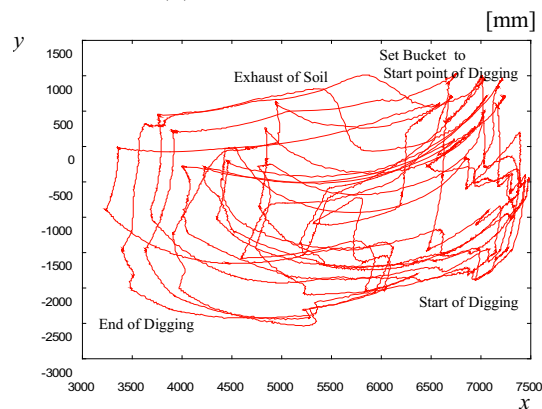
Fig.3に示す計測システムにより各シリンダの長さ l_1, l_2, l_3 および l_4 の変位を計測し、各関節の角度 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ および θ_4 を算出することで、バックホウのパケット先端の軌跡に変換した。



Fig.4 An experiment for analysis of operation skill



(a) Skillful Operator



(b) Non Skillful Operator

Fig.5 Tracks on the tip of bucket

3.3 計測実験

実験は、オペレータが作業環境に対して自由な位置にバックホウを移動させ、初期位置の決定後、操作について計測をした。一般的な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の放土が多いことがこれまでのオペレータへのインタビューによりわかっている。そのため、放土に関しては操作の整合性をとるため、左旋回で行わせ、自由な位置に放土してもらった。計測した項目は、前述したバックホウに実装した各センサの値、バックホウの作業開始位置、作業終了後の掘削範囲の大きさ、放土の場所、放土範囲の大きさおよび高さである。カメラを用いて、前方と側方の2点から作業状況、オペレータの目線、オペレータの手の動きを計測した。実験の様子を Fig.4 に示す。

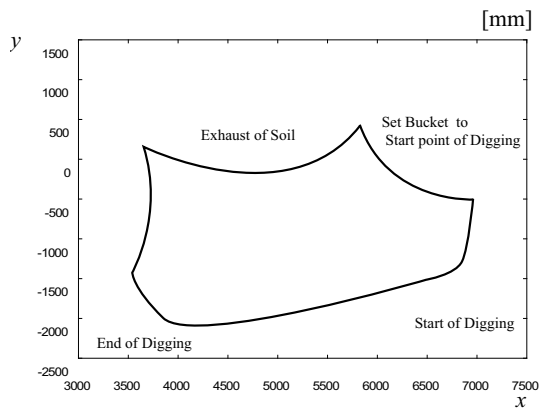


Fig.6 Average of tracks on the tip of bucket of skillful operator

4. 実験結果

一連の動作において、仕上げ、整形については、熟練オペレータ、非熟練オペレータとも、掘削と同時に随時行っており、バケット先端の軌跡が定まらないことがあったが、両者とも作業開始から5分までは主に掘削作業を行っていた。そのため、作業開始から5分までのバケット先端の軌跡を、油圧ショベルのブーム、アームおよびバケットの中心を通る矢状面上に投影したプロットを Fig.5 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。また両者の掘削回数を比較した結果、熟練オペレータが5分間で14回掘削して入るのに対し、非熟練オペレータは11回であった。したがって熟練オペレータの操作による軌跡は、作業を行ううえで効率のよい軌跡であると推察される。この軌跡を平均化したものを Fig.6 に示す。この軌跡を追従する制御を油圧ショベルの無人化システムに適用することで、効率のよい作業が実現できるものと考えられる。

5. 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スキルを抽出した。非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。

今後の課題は、作業効率の定量的な評価、熟練オペレータがどのように掘り進めていくかプランニング方法の抽出、またその操作スキルの形式化、熟練オペレータの操作スキルを用いたバックホウ制御の実装である。

本研究の実験は、独立行政法人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] 西沢修一, 神崎正, 大浦幹男: “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] 産総研, 川崎重工: “プレスリリース 働く人間型ロボットが「屋外での産業車両代行運転」に成功”, http://www.aist.go.jp/aist_j/press.release/pr2002/pr20021219_2/pr20021219_2.html, 2002.
- [4] 境田右軌, 羽田靖史, 川端邦明, 嘉悦早人, 浅間一: 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.