

HRP—作業機械運転対応仕様評価に関する研究開発

— バックホウ代行運転時における生産性評価実験 —

柳原 好孝* 遠藤 健* 後久 卓哉* 上野 隆雄**

要約： 人間協調・共存型ロボットシステムの開発（HRP）の代行運転分野において、前報までに人間型ロボットによる立ち乗り型フォークリフトの代行運転評価実験、着座動作、バックホウの屋内操作基礎実験について報告した。今回の実験では、ロボットがバックホウの掘削作業に必要な各レバーの操作ができることを確認し、人間が直接操作した場合との所要時間、動作精度の比較を行った。その結果、一連の掘削動作については、人間による直接操作の約3倍以内の時間で操作可能であること、精度を必要とするバケット先端部の直線動作が可能であることが確認できた。したがってこれまでに成功したフォークリフトの代行運転と合わせ、一つのロボットシステムで多機種の産業車両の代行運転が可能であることが証明された。最後に、今後実施すべき開発課題についての考察を示す。

キーワード： ヒューマノイドロボット、遠隔操縦、代行運転

目次： 1.はじめに
2. 操作評価実験
3. 生産性評価実験
4. おわりに

1. はじめに

人間協調・共存型ロボットシステム研究開発（以下、HRP）の代行運転分野は、緊急の災害対応時や悪環境等を想定して遠隔から人間型ロボットを操作し、人に代わって産業車両を操作するのが目標である¹⁾。

そこで第一段階では立ち乗り型フォークリフトを使って代行運転の実証実験を行った²⁾。第二段階では建設機械（バックホウ）を使用した実証実験を行った。実験を2ステップに分け、2001年度は運転台部分のみを使用し、着座動作、運転操作が可能であることを確認した³⁾。

本報告では、その後屋外で実施したロボットの乗り込み動作、バックホウの運転動作および、掘削作業等における動作精度、生産性を評価した結果を述べる。

2. 操作評価実験

2.1 実験概要

人間型ロボット HRP-1S⁴⁾ および遠隔操作室から可搬型遠隔操作装置⁵⁾⁶⁾を使用し、着座姿勢運転型バックホウの遠隔操作評価実験を実施した。評価実験では、まずバックホウへの乗り込み動作を実施した。次に人間が同じバックホウに搭乗して行う操作と同等の操作ができるか否かを判定し、さらに同じ操作が可能な場合には、操作に要する時間および操作性能を評価対象項目とした。また、バックホウの基本動作の1つであるバケット先端部の直線動作を実施した。

写真1に、HRP-1Sがバックホウを代行運転して実施した掘削実験の様子を示す。また、遠隔操作室での操作状況を写真2に示す。

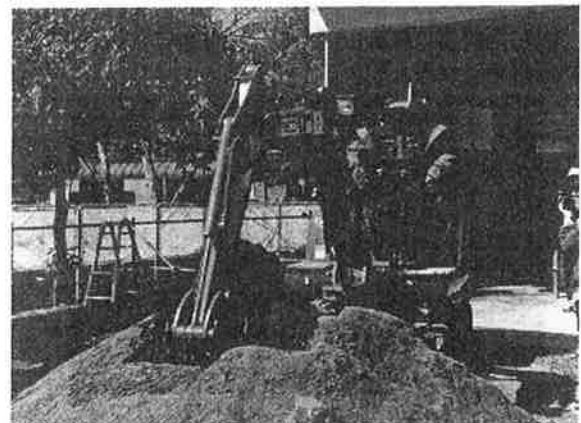


写真1 実験に使用したロボットシステム



写真2 遠隔操作室内部

2.2 乗り込み実験

用途の異なる汎用の作業機械を複数種操作できることを実証するために、操作対象の機種へ乗り込みが可能であるかを検証する目的で、バックホウへの乗り込み動作の実証実験を実施した。

乗り込み動作は、まず運転台の高さまで「階段登りコマンド」実行により移動し、その後横歩きにより運転席の中に乗り込む歩行パターン動作とした。しかしながら、着座に必要な精度を歩行パターン動作の精度だけでは確保できない。これは、ロボットと床面の接触条件が一定とはならず、滑りなどのズレを生じるためである。そこで、視覚補助として画像処理を使用し、ロボットの現状の立ち位置を計測して、次の歩行位置までの指令値を生成し、コマンドで実行する手法を採用した⁸⁾。

まず、頭部カメラを足元にチルト（下方向42°に固定）し、左眼のカメラ画像を取り込む。この画像からバックホウ台座部に貼付けた複数のターゲットマークを認識し、相対的なロボット位置と方向を算出する。視覚補助機能によるロボットの位置計測精度は±1mm程度、処理時間は500msec以下を実現している。これにより、ロボットは±10mm以下の位置精度で最終的に着座動作のための目標立ち位置に移動できた。

写真3に視覚処理画面の例を、写真4に乗り込み動作中のロボットを示す。

着座可能位置に移動した後は、着座動作⁹⁾コマンドにより着座動作を実行した。

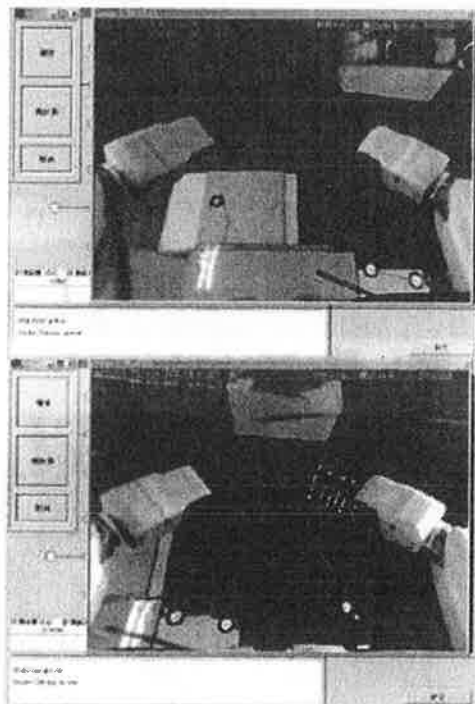


写真3 視覚処理画像
(上段：乗り込み前，下段：乗り込み後)

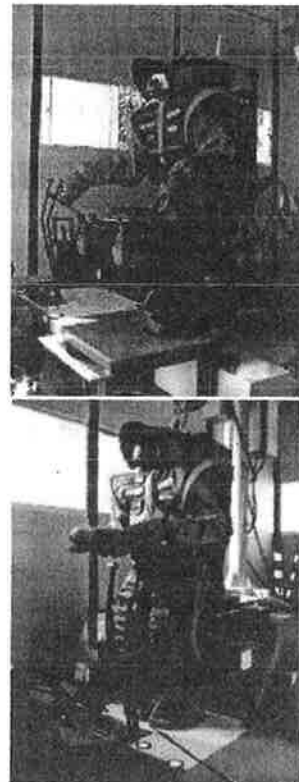


写真4 乗り込み動作中のロボット

2.3 レバー操作実験

バックホウ操縦席（図1）には、バックホウの左右のローラの回転を操作する「走行レバー」と、バックホウのバケット、アーム、ブーム、および旋回を操作する「操作レバー」、その他「アクセルレバー」、「ドーザレバー」、「エンジンキー」等の動作装置があるが、HRP-1Sでは腕の可動範囲内の関係で、「走行レバー」、「操作レバー」の操作のみが可能であった。

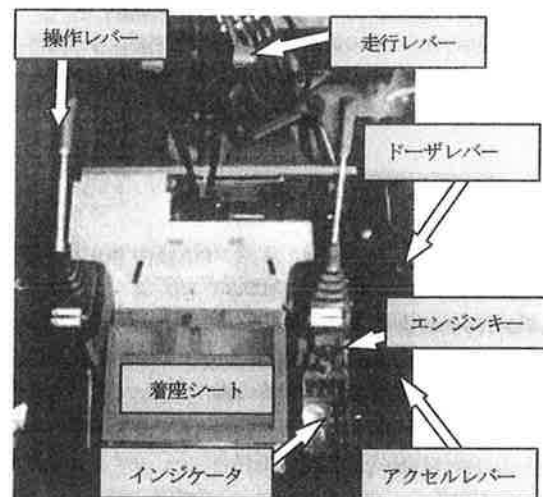


図1 バックホウ操縦席

HRP-1S によるバックホウの代行運転の操作性を評価するために、人が運転台上に直接搭乗し、レバー操作を行い各アクチュエータを動作させる（以下「搭乗運転」）所要時間と、同じ人が可搬型遠隔操作装置により遠隔操作した HRP-1S に各種レバー操作させて各アクチュエータを動作させる（以下、「代行運転」）場合の所要時間とを比較した。なお、操作者は「遠隔操作装置には習熟しているがバックホウの操作は未熟な操作者 A」と「バックホウの操作には習熟しているが遠隔操作装置は未熟な操作者 B」の 2 名とした。得られた結果を表-1 に示す。

比較実験の結果、代行運転の場合、搭乗運転よりも、被験者 A の場合で 0.9～4.3 倍、被験者 B の場合 3.0～6.1 倍の時間を要した。遠隔操作装置には習熟している操作者 A の方が良好な結果が得られた要因として、実験に使用した可搬型遠隔操作装置が様々な作業に対応できる汎用性を重視した設計となっており、バックホウのレバーを直接操作するのとは異なった（例えばコンピュータマウスのような）操作を要求されるためと考えられる。また、アーム操作、ブーム操作で時間が掛かっているのは、HRP-1S のハードウェアの制限により可動範囲の端部近傍での操作が多くなり、操作のやり直しやレバーの握り直しなどに時間を費やしてしまったことが挙げられる。

表 1 各操作別所要時間比（代行運転／搭乗運転）

操作者	A	B
走行操作	0.9	3.6
バケット操作	1.8	3.0
アーム操作	4.3	5.9
ブーム操作	2.7	6.1

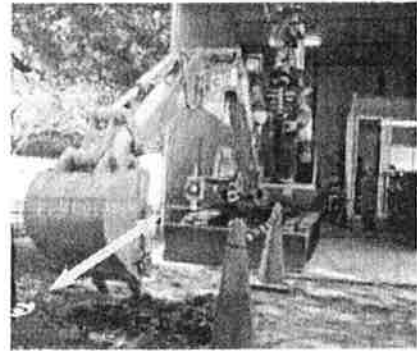


写真5 直線引き動作

2.4 動作精度比較実証実験

次に、写真5に示すように、バックホウの代表的な動作である「バケット先端部直線引き動作」運動の精度を搭乗運転と代行運転で比較した。バケットの運転精度を計るためにバケット先端に付けた反射プリズムの軌跡を自動追尾式トータルステーションで計測した。結果を図-2に示す。なお、被験者はAのみである。搭乗運転の場合は、Z（高さ）方向におおむね 30cm～40cm の誤差で直線動作できているのに対し、代行運転では、60cm～70cm の誤差を生じている。この誤差の要因としては、搭乗運転の場合が人間—バックホウの系に対し、代行運転の場合、人間—ロボット—バックホウと系が複雑になっていることが挙げられる。また、視覚情報についても視覚提示装置の三次元情報の提示精度と人間が直接観察する場合の奥行感覚の差、さらに、ロボットを通して見る奥行方向の軸と人間が視覚提示装置を通して見る奥行方向の軸にずれがあることなどが挙げられる。しかしながら、このような運転精度については、代行運転の場合においても更なる習熟により、より搭乗運転

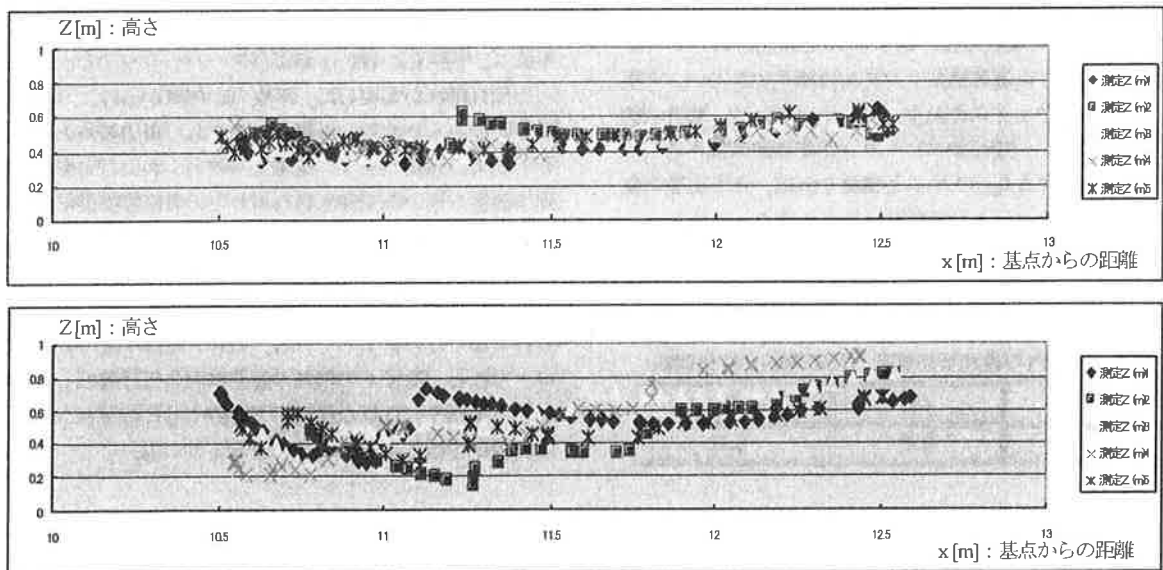


図 2 直線引き動作結果（上段：搭乗運転，下段：代行運転）

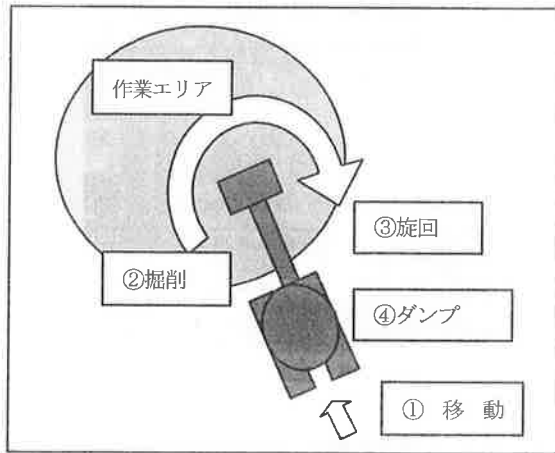


図3 生産性評価手順

に近い時間および精度で動作させる可能性は高いと考えられ、今回人間が実施している動作を精度の問題はありながらも実施可能であったことは評価できると考えられる。

3. 生産性評価実験

人間が通常実施しているバックホウ運転の「走行→レバー持ち替え→掘削→ダンプ（土砂の積みおろし）」の作業にかかわる一連の動作を、建設機械運転技能士の実地試験に準じ、搭乗運転と代行運転の比較実験を実施した。実験手順は、1)5m 前進走行後、掘削ポイントに停止、2)バケット掘削、3)旋回により土砂移動、ダンプ、4)2、3をもう一度繰り返す、5)2の姿勢に戻し停止とした（図3）。

写真6に実験中の状況を示す。

この結果、操作者Bでは、3.8倍の時間を要するものの、操作者Aでは本応用分野の目標に掲げた「搭乗運転に対し、代行運転時の時間を3倍以下にする（遠隔操縦型建機と同等）」ことが可能になった（表2）。

しかしながら現状では、教育された専任のオペレータでなければ、この遠隔操作システムは操作できない。今後は、インターフェースの向上、フェールセーフ、操作の容易性を追求し、一般のオペレータ（作業機械の操作者）でも簡単に操作できるシステムを構築すれば、より人間の操作に近いオペレーションが可能になると考えられる。

また、更なる実用化を目指すには、複雑なロボットシステム全体の操作手法を簡易にする必要がある。

表2 生産性試験所要時間比（代行運転／搭乗運転）

被験者	A	B
生産性	2.8	3.8

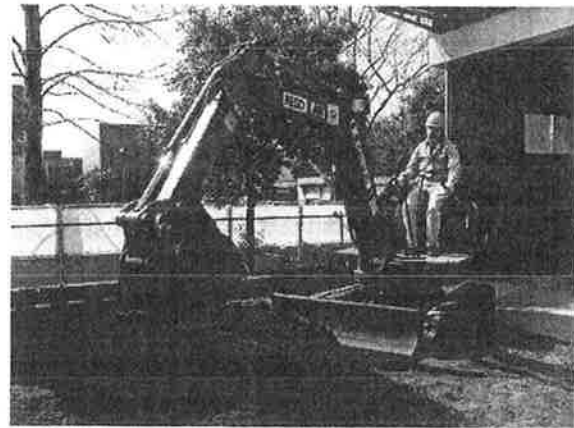


写真6 生産性評価実験状況
（上段：搭乗運転、下段：代行運転）

4. まとめ

HRP代行運転分野では、市販されている産業車両を、遠隔操作された人間型ロボットにより代行運転させ、各種作業を行わせることを目標に研究開発を遂行してきた。まず、「立ち姿勢運転型フォークリフト」を運転対象とし、平成12年度末にHRP-1およびスーパーコックピットを用いて代行運転を実現した。平成13年度からは、「着座姿勢運転型バックホウ」を運転対象とし、周辺技術の研究開発を進め、保護ウェア⁷⁾を着たHRP-1Sおよび可搬型遠隔操作装置を用い雨天時も含む屋外での着座姿勢運転型バックホウの代行運転に成功した。

今回の評価実験で屋外での代行運転の有効性を示すことができたが、まだ多くの産業車両のうち2機種の操作実験を実施したに留まっている。HRPは昨年度で終了したが、今後は、数多くの種類の産業車両を代行運転し、人間にとって過酷で危険な環境下で活躍する代行運転システムが実用化できるようにしたいと考えている。

謝 辞

本稿に関係するHRPの研究開発を支援していただいたNEDOの津崎氏，MSTCの皆様，プロジェクトリーダーの東大井上教授とサブリーダーの東大館教授，同じグループで開発した川崎重工業株式会社の皆様，多くの面で指導，バックアップをしていただいた独立行政法人産業技術総合研究所の比留川氏と横井氏に感謝したい。

参考文献

- 1) 横井一仁，中嶋勝己，他2名：人間型ロボットによる産業車両の遠隔運転（HRP 代行運転分野）第20回日本ロボット学会学術講演会予稿集，(2002)
- 2) H. Hasunuma, M. Kobayashi, and six persons, A Tele-operated Humanoid Robot Drives a Lift Truck, Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 2246-2252, 2002
- 3) 柳原好孝, 大矢和久, 他8名：人間型ロボットによる着座型作業機械の運転操作実証実験(HRP代行運転分野), 第20回日本ロボット学会学術講演会予稿集(2002)
- 4) K. Yokoi, F. Kanehiro, and four persons, A Honda Humanoid Robot Controlled by AIST Software, Proc. IEEE-RAS Int. Conf. Humanoid Robots, pp. 259-264 (2001).
- 5) 中嶋勝己，家中良太，他6名：可搬型遠隔制御装置の開発（HRP 代行運転分野），第20回日本ロボット学会学術講演会予稿集，(2002)
- 6) 蓮沼仁志，中嶋勝己，他5名：人間型ロボットの遠隔操作手法の開発（HRP 代行運転分野），第20回日本ロボット学会学術講演会予稿集，(2002)
- 7) 後久卓哉，柳原好孝，他3名：人間型ロボット用保護ウェアの開発（HRP 代行運転分野），第21回日本ロボット学会学術講演会予稿集，(2003)
- 8) 中嶋勝己，小林政巳，他5名：人間型ロボットの遠隔操作システムの改良と総合実験（HRP 代行運転分野），第21回日本ロボット学会学術講演会，(2003)

A Research on an Evaluation of the Driving Machine Operation by a Humanoid Robot

Y. Yanagihara K. Endo, T. Gokyu, and T. Ueno

We will describe our attempt for a tele-operated humanoid robot to drive a backhoe. It will be possible for a humanoid robot to drive an industrial vehicle instead of a human operator. If a humanoid robot can be operated by a human operator from a remote site, it enable to use a general type of vehicle safely in a dangerous field. We introduced a backhoe as the target vehicle to show the possibility of driving a vehicle in a sitting posture. The robot sits down with balancing on a cockpit of the backhoe and manipulates control levers for driving.

For the evaluation, it is tested to sit down and manipulate the levers on the driving cockpit of the real backhoe. To compare it with a human's work, the efficiency is close to practical use.

