

HRP—作業機械運転対応仕様評価に関する研究開発

— 着座姿勢運転型バックホウ代行運転のための基礎操作実験 —

柳原 好孝* 上野 隆雄** 大矢 和久**

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、これまでに人間型ロボットによる立ち姿勢運転型作業機械である立ち乗り型フォークリフトを使って代行運転の実証を行った。

今回、着座姿勢運転型作業機械での代行運転の実証を目指し、その中でも代表的な建設機械であるバックホウを例に実証実験を行うことにした。

実験を2ステップに分け、まず、着座動作と運転操作がすべてできることを確認し、人間が同じ動作を行う場合との操作の比較を行った。その結果、レバー操作については、人間の約2倍の時間で操作可能であることが確認できた。

次のステップでは、掘削実験を行い、生産性の比較を実施する予定である。

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.運転操作実証実験

3.着座姿勢運転型作業機械の作業性評価

4.おわりに

1.はじめに

国家プロジェクト「人間協調・共存型ロボットシステムの開発」(以下、HRP)では、2000年度より5つの応用分野に分かれ、人間型ロボットの実作業適用のための応用研究を行っている。このうち代行運転分野は緊急の災害対応時や悪環境等を想定し、遠隔操作で人間型ロボットを操作し、人に代わり複数種の産業車両を操作するのが目標である¹⁾。

産業車両には立ち姿勢で運転するタイプと着座姿勢で運転するタイプがある。そこで第一段階では立ち姿勢運転型の産業車両である立ち姿勢運転型フォークリフトを使って代行運転の実証を行った²⁾。

第二段階は着座姿勢運転型の産業車両での実証を目指し、その中でも代表的な建設機械であるバックホウを使用した実証実験を行うことにした。実験を2ステップに分け、2001年度は実物の運転台を使い、着座から始めて運転操作がすべてできることを確認した。乗り込みや掘削作業は2002年度に実証する予定である。

本報告では、可搬型遠隔操作装置³⁾や保護具⁴⁾⁵⁾とともに構成した代行運転システムを使用した屋内での運転操作の基礎実験の結果を示す。

2. 運転操作実証実験

2.1 着座姿勢運転型の産業車両の特定

着座姿勢で代行運転可能な産業車両としてその操縦に要する技能の難易度等から、バックホウを選定した。そのうち使用する人間型ロボットHRP-1S²⁾で最も容易に評

価実験が可能な機種を、運転席のスペース、操作レバーの配置等から判断し、日立建機製のバケット容量0.1m³級バックホウ(EX25-2)に特定した(写真1)。



写真1 実験に使用したバックホウ

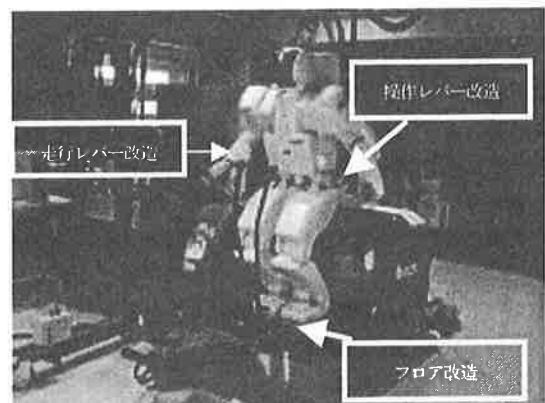


写真2 運転席の改造



写真3 実証試験の状況

2.2 実験装置

実物のバックホウからクローラ機構とアーム機構を外した運転台部分を実験室内にセットし、運転操作の実証実験を行った。

人とは異なる可動範囲や人より大きな足を有するHRP-1Sを用いての実験を可能とするために、バックホウの運転席の一部を改造した。内容は乗り込みおよび着座時のスペース確保のための床のフラット化、操作レバーをロボットの視覚装置で視認可能な位置で、かつ両腕の動作範囲内とする形状変更、着座用保護シート設置のための椅子の変更である。改造箇所を写真2に示す。

ただし、将来的にロボットのデザインがより人に近い形になれば、産業車両には、今回施した改造を行う必要はない。

実験はロボットを運転台上、椅子の前に立たせた状態から開始し、着座、右手を着いて右足、左足の順に前に出して着座の安定化を行った後、走行レバーと操作レバーの操作を行わせた。また、動作の補助機能として視覚補助操作⁶⁾を実施した。屋内での実験ではリモコン方式のバックホウミニチュア模型を用意し、レバーの動きに連動させて模型に掘削作業を行わせた(写真3)。試作の代行運転用ハンドを右手に装着した⁶⁾。

3. 着座姿勢運転型作業機械の作業性評価

3.1 着座動作

着座動作は、シミュレータで動的なバランスを検証した後、動作データをプログラム化し、実機で実行した。順序としてはまず、腰を屈め、臀部を接触させ、その後上体を起こす手順を採用した。この着座パターンによりバックホウ運転席に着席することが確認できた(写真4)。

着座の時間を計測の結果、人間では平均1.5秒で実施可能であった。一方、ロボットによる動作では、ロボットの着座時の安定性を考慮し、7.0秒とした。したがって、人間の約4.5倍の時間を要する結果となったが、今後さらに

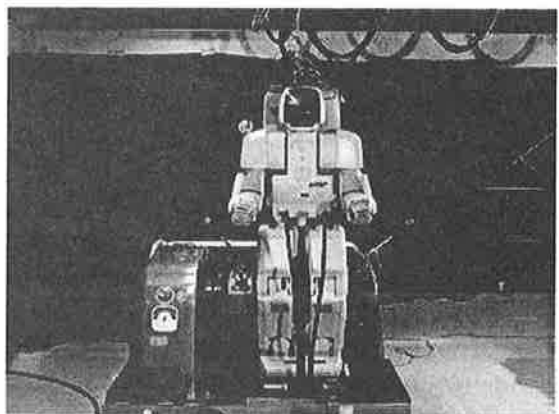
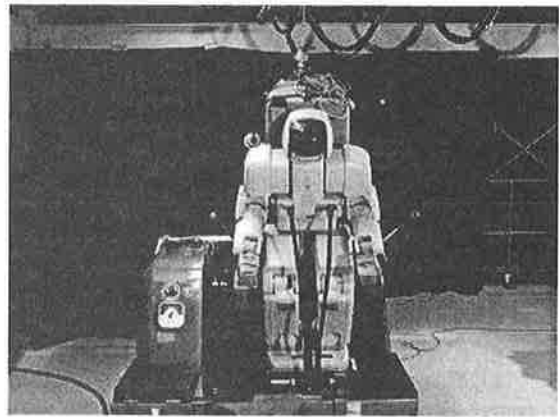
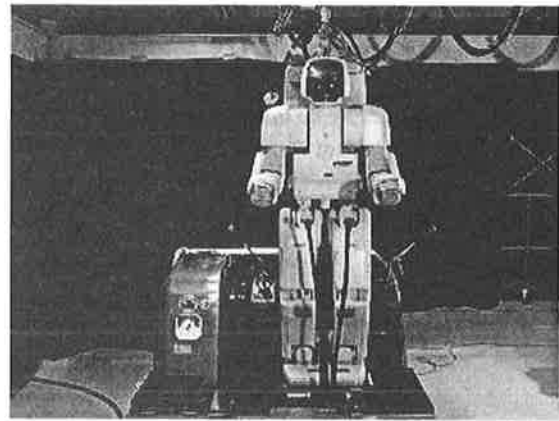


写真4 着座動作

着座軌道の修正と着座シートの構造を改良させることで、ロボットの持つ性能からも人間に近い所要時間で着座することは可能になると予想される。

なお、現在は着座シートとロボットの相対位置誤差の許容値が、5mm程度しかないが、乗り込み動作後の着座を想定した場合、最低10mm程度の誤差が生じるものと考えられる。この対策としては、乗り込み後に視覚補助装置を使用した立ち位置補正等の機能を追加し、また、座席保護シートについても、最大10mm程度の着座に対する許

容が可能な構造とする必要がある。

3.2 走行レバー・操作レバー操作

人が運転台でレバー操作をする時間と、同じ人が遠隔操作装置を介し遠隔操作したロボットがレバー操作する時間を比較し、作業性の評価とした（評価対象者1名）。なお、操作者には、「実際の機器を動作させているつもりで」と条件を示した。実験に先立って、バックホウのそれぞれのレバー操作力を計測した結果を図1に示す。

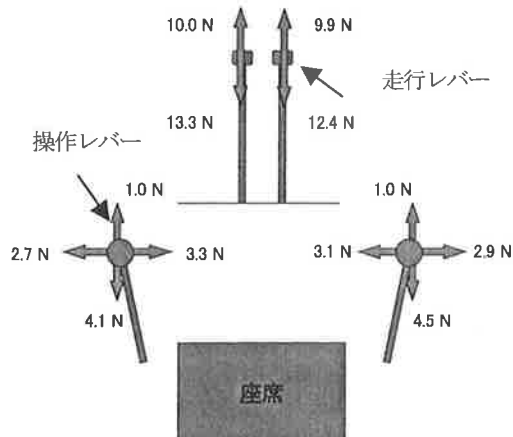


図1 レバー操作力

表1 走行レバー操作時間の比較

動作	A1:人平均 (s)	B1:ロボット平均 (s)	比 (B1/A1)
右前進	10.9	15.4	1.4
左前進	10.7	15.5	1.5
右後退	10.4	18.4	1.8
左後退	10.8	20.5	1.9
右前進+左前進	11.9	19.0	1.6
右後退+左後退	11.6	19.7	1.7
右前進+左後退	11.8	20.7	1.7
右後退+左前進	12.3	18.8	1.5

表2 操作レバー操作時間の比較

動作	A2:人平均 (s)	B2:ロボット平均 (s)	比(B2/A2)
右前	11.3	19.3	1.7
右後	11.8	24.3	2.1
左前	12.0	22.8	1.9
左後	12.0	-	-
左外	11.2	15.9	1.4
左内	11.3	15.0	1.3
右外	12.6	16.7	1.3
右内	10.8	16.2	1.5
右前+左外	11.7	22.0	1.9
右前+左内	11.7	17.4	1.5
右後+左外	11.0	22.0	2.0
右後+左内	11.0	18.6	1.7

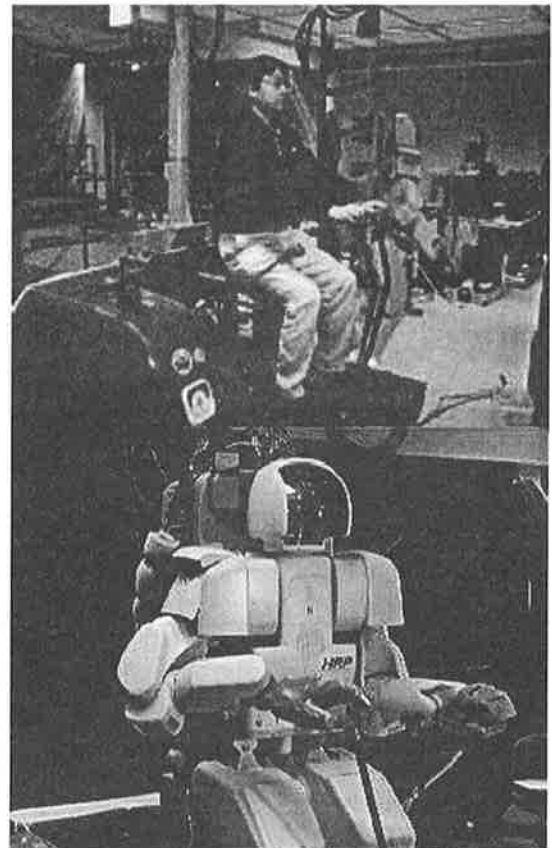


写真5 走行レバー比較実験
(上段：人間，下段ロボット)

各種レバー動作を評価した結果を表1、および表2に示す。実験の結果、走行レバーの操作は、ロボットにとって比較的容易に認識、動作可能な位置にあるが、後退動作、複合動作では、1.4~1.9倍の時間を必要とした。

一方、操作レバーではロボットハンドの種類、および可動範囲の違いにより動作で差が出る結果となった。特にHRP-1S標準装備のハンドでは後ろ向きに引く動作が不可能であり代行運転用ハンドの有効性が示せた⁶⁾。

実験中の状況を写真5に示す。

しかしながら現行のロボット(HRP-1S)²⁾の動作範囲では、上記レバー以外の、例えばアクセルレバー、排土板操作レバー、エンジンキーなどの動作は不可能であった。これらの動作を可能にするためには、最低限腰軸の追加等による対象物の視覚認識と可動範囲の拡大が必要と考えられる。

3.3 マスタフット操作

マスタフット³⁾は、現在開発途上のためその動作確認にとどまっており、人間に対する評価および他の操作(ここではマスタアームからのコマンド操作)との比較には至っていない。図2に示す手順で動作確認のみを実施した。

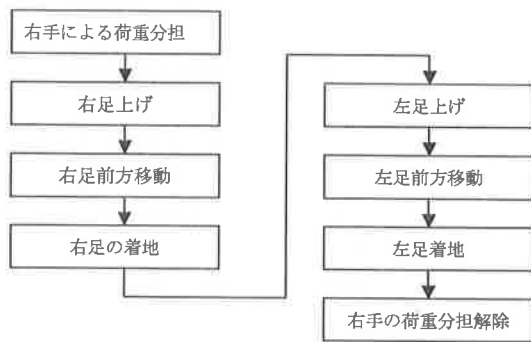


図2 マスタフット動作手順

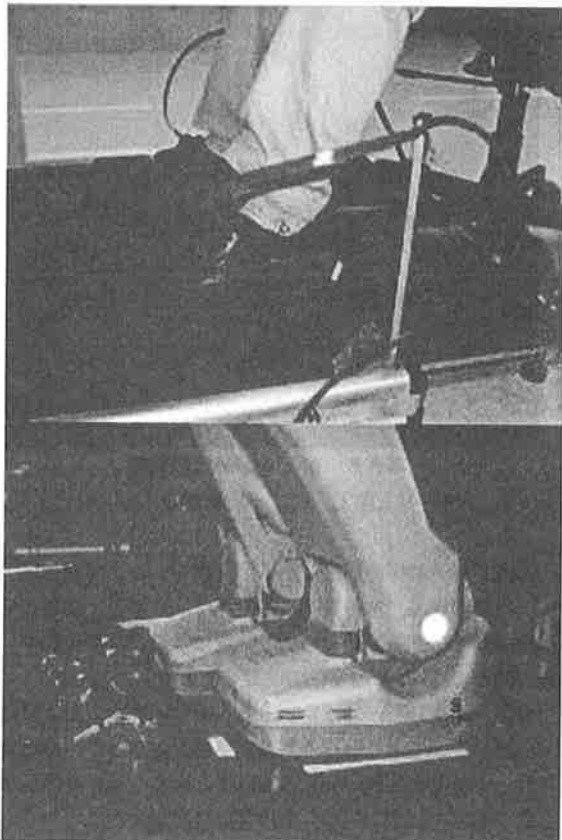


写真6 動作状況 (上: 操作者、下: ロボット)

まず、右手をバックホウ運転台の固定部に手をつき、両足と臀部で荷重を分担してバランスを右手、左足、臀部に変更する。次に右足を浮かせ前方に移動させる。続いて左足も同様に前方に移動して着座姿勢の安定性を増加させ、振動などによるロボットの転倒の可能性を低減する。

マスタフットの動作状況を写真6に示す。

マスタフットによる動作で、HRP-1Sの足動作を実現した。ただし、現在はコマンドレベルでの動作に留まっている。また、下げ動作をマスタアームで代行させており、今後はすべての動作をマスタフットで実現し、速度制御あるいは、位置制御可能とする必要がある。

3.4 視覚補助操作

視覚補助とは、繰り返し動作される走行レバーから操作レバーまでの手の移動を一部プログラムにより自動化させるための三次元視覚計測のことをいい、実験では、脇の操作レバー付近から前方走行レバー付近までハンドを移動するときの、

- ・走行レバー位置の相対位置計測の誤差
- ・ハンドの移動にかかる操作時間（視覚補助の有・無）

について計測した。

相対位置計測を実施した結果、Z方向（おおむね奥行き方向に相当）の誤差は最大4cm程度、それ以外は2cm程度であった。

次に操作時間については、今回の移動距離では視覚補助機能有り・無しで操作時間に大きな差はなかった。ただし、今回の移動距離ではマスタアーム³⁾を動作する場合、基準点から走行レバーまで手先を移動するのに3回往復させる必要があった。つまり移動距離が増えるとこの回数が増え、操作時間も増える。

これに対し、視覚補助機能を用いた場合は画像認識後のアームの移動時間は5secの固定値に設定されているため、移動距離が増えても操作時間が増えることはない。また、視覚補助機能を使用しない場合は最終位置の繰り返し精度が悪く、特に操作者が奥行き感覚をつかむことが難しく、ハンド移動に神経を使う。

一方、視覚補助機能を用いた場合、ほぼ一定の位置に誘導することができた。ただし、視覚補助機能を使う場合は、対象物にカーソルをあわせる所要時間のばらつきに留意する必要がある。

3.5 代行運転用ハンド

写真7にHRP-1Sの標準ハンド、写真8に代行運転用ハンド⁶⁾を示す。

前述の操作レバー操作評価実験において標準ハンドでは、バックホウの操作が可動範囲外となり、操作不能となった。これに対し、代行運転用ハンドは、内側と外側の指の長さの差が少なく、また下碗の取り付け部が標準ハンドと異なり、軸のオフセットがなく操作レバーを可動範囲内で操作が可能であった。

標準ハンドは、指の開閉角度が人間より小さいため、操作レバーや走行レバーのグリップを把持するために多くの時間を要した。これに対し、代行運転用ハンドは、グリップに近づくまでに指の開閉角度を大きくとることが可能で比較的容易にグリップを把持可能である。

ただし、把持中心に手が位置していない場合に指を閉じると、これにより操作レバーが動き、産業車両が動作する恐れがあるため、制御または、視覚認識により精度のよい位置決めが必要となる。

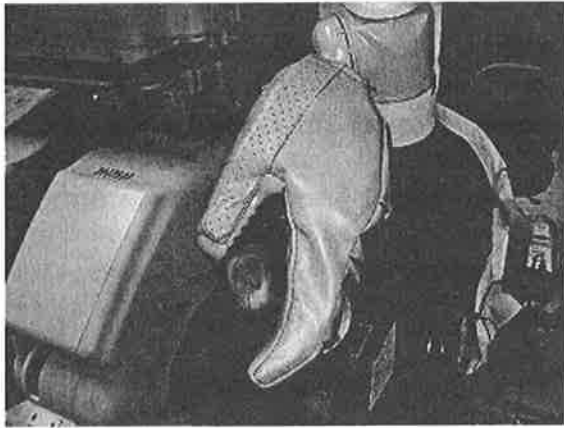


写真7 標準ハンド



写真9 可搬型マスタシステム

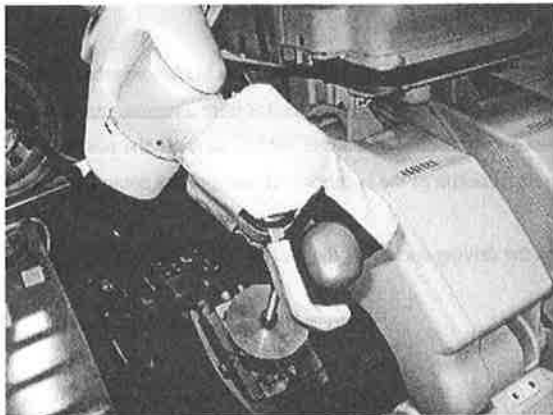


写真8 代行運転用ハンド

3.6 可搬型マスタシステムの立ち姿勢運転型作業機械操作

可搬型マスタシステムを使用した代行運転用の操作システムに対し、平成13年度に製作した立ち姿勢運転型フォークリフト⁷⁾を使用し、ユーザの立場からその仕様評価を実施した(写真9)。

可搬型マスタシステムは遠隔操縦コックピット⁷⁾と比較し、現場で簡単に組み立てられる範囲の分割式で、質量20kg以下の可搬性を優先させている。

遠隔操作を実施したオペレータからのヒアリングの結果、以下の改善点が指摘された。

- 切り替えボタンスイッチが重い
- ケーブル処理の不具合
- カウンタウエイトのバランスが取れていない

- メニューの配置の工夫が必要
- 人の通常動作について行けない(ゲイン等の調整)
- ロボットの動作中に腕の特異点でエラー発生
- ロボット全体の姿勢状況を把握しにくい
- カメラの輻輳角調整機能の追加
- マスタ装置の操作可能範囲が狭い

このような指摘は、実際の作業現場でも想定できるため、解決が必要と考えられる。

4. まとめ

人間協調・共存型ロボットシステムが適用可能な着座姿勢運転型の産業車両を特定した。また、可搬型マスタシステムと着座姿勢運転型産業車両操作実験用の遠隔操作システムを用い、着座姿勢運転型産業車両操作におけるロボットプラットフォームの適合性に関する基礎実験を行った。

その結果、人間と比較し1.3~2.1倍の時間がかかるものの、最低限動作が必要な走行レバー操作、操作レバー操作を実現することができた。また、マスタフット³⁾を使用した足の移動も可能であった。さらに、視覚補助機能⁶⁾を使用することで、規定動作のコマンドでの実行の有効性が確認された。

最終的には開発した技術を統合したシステム全体について、掘削作業などの実作業を想定して行う総合実験で生産性を含めた評価を実施する予定である。

なお、本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構を通じ(財)製造科学技術センターからの再委託により実施したものである。

参考文献

- 1) 横井一仁, 中嶋勝己, 柳原好孝, 横小路泰義: 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, H. Moriyama, T. Itoko, Y. Yanagihara, T. Ueno, K. Ohya, and K. Yokoi. A Tele-operated Humanoid Robot Drives a Lift Truck, Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 2246-2252, 2002
- 3) 中嶋勝己, 家中良太, 藤森潤, 加賀谷博昭, 森山尚, 蓮沼仁志, 久保田哲也, 志子田繁一: 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)

4) 柳原好孝, 上野隆雄, 石川雅美, 光永純一, 児玉啓吾: 人間協調・共存型ロボット (HRP) の衝撃解析, 第 19 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, (2001)

5) 上野隆雄, 柳原好孝, 児玉啓吾, 光永純一: 人間型ロボット用着座シートの衝撃解析・振動試験 (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)

6) 蓮沼仁志, 中嶋勝己, 小林政巳, 御船文里, 宮原啓造, Neo Ee Sian, 横井一仁: 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) 柳原好孝, 上野隆雄, 大矢和久: HRP-作業機械運転対応仕様評価に関する研究開発 -HRP の概要と立ち姿勢運転型フォークリフト代行運転 東急建設技術研究所報 第 27 号, pp43-46, (2001)

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

Y.Yanagihara T.Ueno, K.ohya

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.