

U. D. C 621. 398:621. 86:621. 87

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 —

柳原 好孝* 上野 隆雄** 大矢 和久*

要約： 新エネルギー・産業技術総合開発機構を通じて（財）製造科学技術センターから再委託された「人間協調・共存型ロボットシステムの応用研究開発」の1テーマとして、建設・運搬サービス分野における「作業機械運転対応仕様評価に関する研究開発」がある。

本報告では、人間協調・共存型ロボットシステムおよび遠隔操作コックピットを一部改造することで開発した立ち姿勢型作業機械操作実験用の遠隔操作システムを用い、立ち姿勢型作業機械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について記す。基礎実験では作業性、操作性、生産性などを評価し、今後の課題等を明確化した。

キーワード： ヒューマノイドロボット、遠隔操縦

目次： 1.はじめに
2.人間協調・共存型ロボットシステム
3.立ち姿勢運転型作業機械運転評価実験
4.おわりに

1. はじめに

災害復旧現場、土木建設現場などの悪環境、危険な作業空間の中においては、作業機械（建設機械や運搬機械など）を遠隔で操縦できれば、作業者を危険な悪環境から解放し、二次災害や職業病などから作業者を守ることができる。そのため、作業機械を遠隔で操縦できるシステムに対する社会的ニーズは強い。

従来、危険空間や悪環境下で作業機械（建設機械や運搬機械など）を遠隔操縦する場合、作業機械本体を無線化するなど付加価値を高める必要があった¹⁾。したがって、調達可能な機械に制約のある作業現場への適用や緊急工事への派遣が難しく、また、作業機械が故障した場合は、人が危険を侵して修復や回収に赴く必要があるなどさまざまな問題点があった。

一方、経済産業省の研究開発プロジェクト「人間協調・共存型ロボットシステムの研究開発（HRP）」で開発された人間型ロボットは、人間と類似した体型で、人の全身動作に近い自由度を持つため、人が操作する作業機械システムの構造を大幅に変更することなくそれを取り扱うことができる。

今回、「人間協調・共存型ロボットシステムの応用研究開発」の1テーマとして、建設・運搬サービス分野における「作業機械の代行運転」をテーマに研究開発を実施した。

本報告では、代行運転の第一ステップとして立ち姿勢で運転可能なフォークリフトを人間協調・共存型ロボットで操作・運転する場合の搭乗、操作、生産性を評価した実験結果について述べる。

2. 人間協調・共存型ロボットシステム

経済産業省は、産業技術応用研究開発プロジェクトのテーマとして平成10年度から5年間の予定で「人間協調・共存型ロボットシステム」の研究開発を実施中である。このプロジェクトは、プラットフォーム提供型という新しい方式で実施されている。これは、プロジェクトの最初の2年間で共通の基盤となる研究プラットフォームを実施主体に提供し、そのうえで後期3年間に応用技術を研究開発するという方式である。ここで、プラットフォームとは、ヒューマノイドロボット（写真1）、遠隔操縦コックピット（写真2）、仮想ロボットプラットフォームから構成される。現在これら研究プラットフォームの研究開発はすでに完了し、後期の応用研究開発が開始されている²⁾。

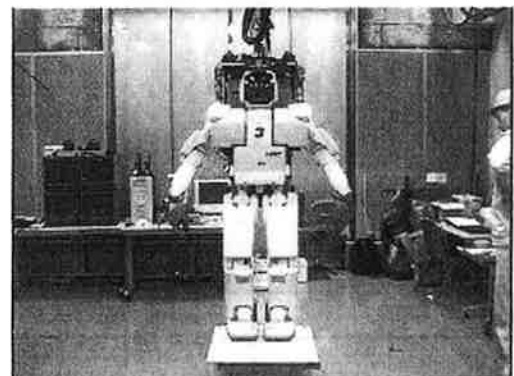


写真1 ロボットプラットフォーム（HRP1）

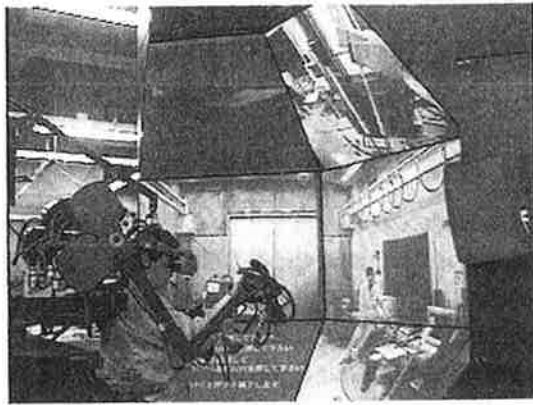


写真2 遠隔操縦コックピット

応用研究開発では、「発電プラントなどの点検作業応用」、「対人サービス応用」、「作業機械の代行運転応用」、「ビル・ホーム管理サービス応用」、「屋外共同作業応用」があり、本報告ではこの中の「作業機械の代行運転応用」について、平成12年度に実施した立ち姿勢運転型作業機械の代行運転におけるロボットへの要求仕様を策定するための各種実験とその結果について以下に示す。

3. 立ち姿勢運転型作業機械運転評価実験

3.1 立ち姿勢運転型作業機械の製作・改造

立ち姿勢運転型作業機械として実験で使用したフォークリフトを写真3に示す。また、実験に先立ち、現段階でのプラットフォームで代行運転可能とするためフォークリフトに改造を施した。改造内容を表1に示す。



写真3 立ち姿勢運転型作業機械（フォークリフト）

表1 改造項目

箇所	改造内容
ステップ	<ul style="list-style-type: none"> ロボットの立ち位置となる運転席フロアを平滑化 乗り込み高さ：GL+200mm 補助キャスタ追加
操作レバー	<ul style="list-style-type: none"> 使用優先順位による配置換え
非常停止スイッチ	<ul style="list-style-type: none"> 非常用のスイッチ追加

3.2 立ち姿勢運転型作業機械への搭乗評価実験

立ち姿勢運転型作業機械による遠隔操縦実験では、フォークリフト、ロボットプラットフォーム、遠隔操縦コックピット）を使用し、実験を行った。

立ち姿勢運転型作業機械への搭乗動作時の評価項目を以下の表2にまとめる。

搭乗動作実験の結果、以下の手順（図1）によってフォークリフトへの乗り込みが可能であることが確認できた。

乗り込み時の高さは、提供されたプラットフォームでは段差160mmで一定であった。

乗り込み時に移動モードから作業モードへ切り替える時に、

表2 搭乗に関する評価項目

項目	評価内容
乗り込み高さ	ロボットの階段昇降高さ（仕様では高さ200mm）の実測による確認および評価
乗り込み時の歩数および精度	乗り込み動作時に指示した移動距離、角度の精度
ロボットの安定性	乗り込み動作時のロボットのバランス
乗り込み時の視覚情報	乗り込み時の注視点と確認範囲
接触（干渉）	乗り込み動作時にロボット本体が作業機械と接触（干渉）する姿勢および位置

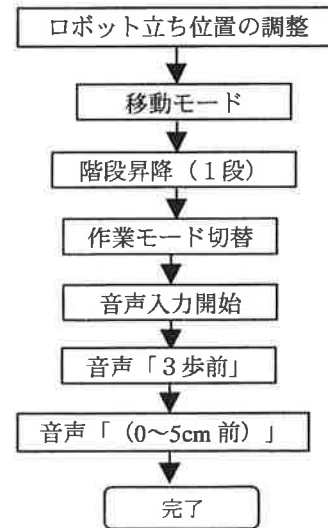


図1 搭乗手順

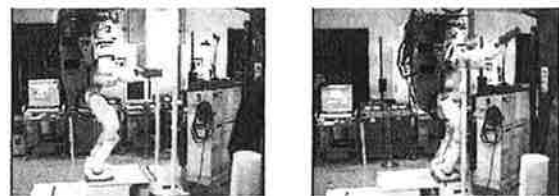


写真4 搭乗状況（搭乗前：左、搭乗後：右）

ロボットのアーム部の移動軌道が一義的に定められているためフォークリフトと干渉しないように、段差を上った後、3歩前進して搭乗する必要があった。また、足の着地位置の精度は、路面の滑り量により異なり、3歩前進する間、最大5cm程度の誤差が生じた。なお、ステップ上での歩行では、地上を歩行している場合と同等に歩行可能であったが、歩行面の摩擦により足の着地位置精度が異なることがわかった(写真4)。

乗り込み時に干渉の恐れがある部位として肘部から手先部と膝があった。乗り込み時にはこれら干渉の可能性のある箇所をオペレータが視覚で確認し、肘をあげて乗り込む方法で対処した。

3.3 立ち姿勢運転型作業機械の操作評価実験

立ち姿勢型作業機械操作に関する評価項目と評価結果を以下の表3にまとめる。

表3 操作評価項目とその結果

項目	評価内容と結果		
	内容	人間操縦	ロボット操縦
ハンドル操作	適正ハンドル操作ノブ高さ	55mm	250mm
	ハンドル操作速度	27.6rpm	2.5rpm
	許容ハンドル操作力	600g	250g
レバー操作	適正レバー操作高さ	237mm 210mm 188mm	475mm 480mm 450mm
	許容レバー操作力	1200g	600g
安定性	走行振動に対する安定性 許容加速度(操作時の)	3.42m/s ² (最大)	0.31m/s ² (最大)
作業機の情報確認(視覚)	情報確認範囲(実測:首を回さない)	150deg	70deg

ハンドル操作に関しては、事前に模擬ハンドルによる操作実験を実施し、ロボットの円軌道を描きやすい腕および肘部の高さを確認し、フォークリフトのハンドルノブを195mm程度延長することで対応した(写真5)。

ハンドル操作力は、ハンドルの回転力のことをいい、時計回り、反時計回りのそれぞれの人間操縦時と同じ改造をしていない状態の操作力、並びに改造を施しロボットで操作可能となった時の操作力を示した。

レバー操作は、3本の操作レバーを約250mm延長し、レバー操作力を600g以下に低減する必要があった。レバー操作実験の状況を写真6に示す。

ロボットの走行許容振動(加速度)については、人間が搭乗して運転する場合の許容加速度に対し、どの程度

の割合まで許容可能かの確認実験を行った。その結果、人間が最大加速度3.42m/s²に対し、ロボット搭乗運転の場合、0.31m/s²とほぼ1/10の加速度であれば、遠隔操縦による代行運転が可能であることがわかった。図2に人間搭乗時、図3にロボット搭乗時の加速度データを示す。

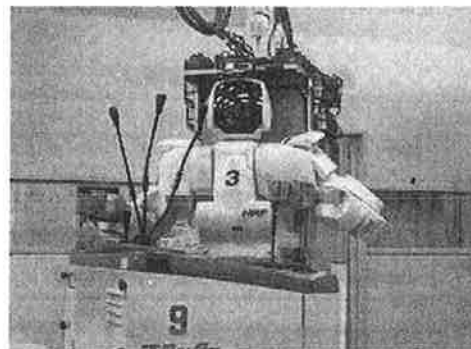


写真5 ハンドル操作

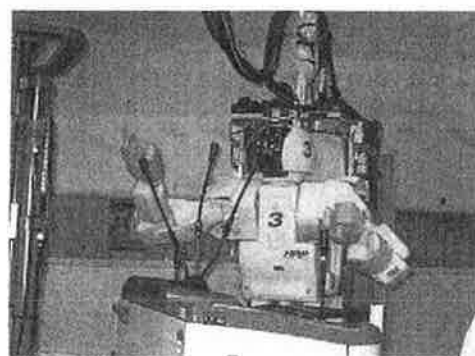


写真6 レバー操作実験

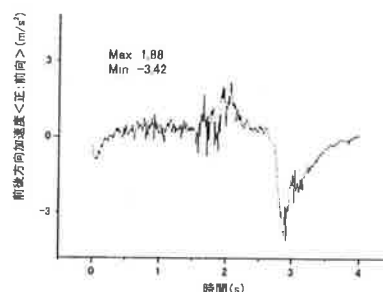


図2 人間搭乗時(前進停止)の加速度

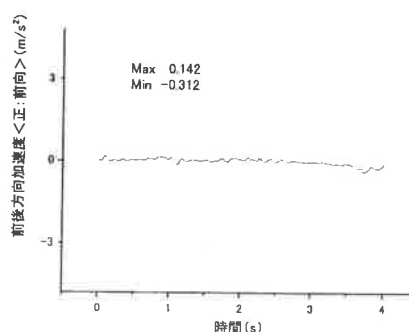


図3 ロボット搭乗時(前進停止)の加速度

3.4 立ち姿勢運転型作業機械を使用した生産性評価実験

立ち姿勢型作業機械の生産性に関する評価項目を以下の表4にまとめる。

立ち姿勢運転型作業機械の各一連の動作について人間による搭乗運転とロボットプラットフォームによる代行運転との作業時間について比較した(図4)。

表4 生産性評価項目

項目	評価内容
荷役作業	操作レバー(リーチ)を動作させ、フォークリフトの爪にパレットを差し込み、操作レバー(チルト)および操作レバー(昇降)でパレットを持ち上げる動作を実施し、一連の動作に要する時間を計測
運転動作	ハンドル、走行レバーを同時に動作し、フォークリフトを移動させ、一連の動作に要する時間を計測

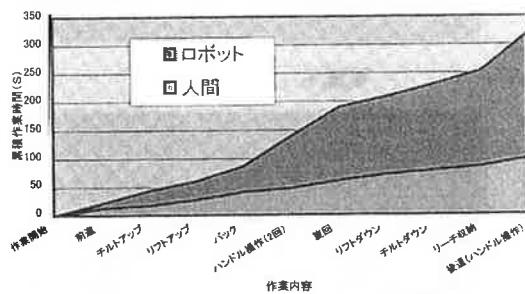


図4 生産性実験結果

実験の結果、人間による搭乗運転とロボットプラットフォームによる代行運転とは、ハンドル操作で大きく作業時間の差(5~10倍程度)が発生した。

しかしながら全工程では、人間の約3倍程度ですべての荷役作業、運転動作を実現することができており、最初のステップとしては十分な成果を得ることができたと考えられる。

4. おわりに

ロボットプラットフォームおよび遠隔操縦コックピットを一部改造することで開発された立ち姿勢型作業機械操作実験用の遠隔操作システムを用い、立ち姿勢運転型作業機械の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。ここではロボットプラットフォームを使用した場合と人間が直接実施した場合の作業性、操作性、生産性などを比較し、総合的な評価を得ることができた。

その結果、人間の3倍程度の時間を必要とするが、ロボットによる立ち姿勢での一連の代行運転を実現する事ができた。次にステップとしては、着座姿勢によるバックホウの代行運転の実験を実施予定である。

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) 南哲行,長井義樹,村松敏光,鈴木弘康:土砂災害と無人化施工,第18回建設用ロボットに関する技術講演会論文集, pp.1-19,2000
- 2) 井上博允,比留川博久:人間協調・共存型ロボットシステムの研究開発プロジェクト,日本ロボット学会誌,Vol.19,No.1,pp.2-7,2000

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

Y.Yanagihara T.Ueno, K.oya

Remote control does a humanoid robot from the environment where it is safe and comfortable, and the realization of the application system that vehicles and a machine can be just operated under the dangerous working space such as operation time and the inside of the generation of electricity plant right after suspension of equipment and the bad environment as a human other self is being expected.

Research on an evaluation of the robot system that it can agential drive the industry vehicles which applied a humanoid robot to the remote operation of the construction, conveyance working machine will be done with the aim of such a system in the future by these research and development.