

## HRP—ロボット保護技術に関する研究開発 その2

上野 隆雄\* 柳原 好孝\*\* 児玉 啓吾\*\*\*

**要約：** 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）から委託された「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、「ロボット保護技術に関する研究開発」を実施している。本研究は、人間協調共存型ロボットをバックホウ等の着座姿勢運転型建設機械に搭乗させ、ロボットを遠隔操作することにより、建設機械を運転させるために必要な保護技術の開発を目的としている。今回は、昨年度実施したロボット臀部と座席の衝撃解析に対し、新たに足裏とバックホウ床との干渉条件を加え精度を高めたシミュレーションを実施した。着座シートの形状およびシートベルトの有無による振動波形の違いを比較した結果について述べる。また、ロボットの臀部を保護する目的で選定した衝撃吸収素材の振動吸収性能を検証するため、振動台を用いた加振試験を実施した。当該素材を建設機械の模擬座席に装着し、ロボットダミーを着座させた上、作業時のバックホウから採取した振動波形を基に加振した。ロボットダミーの転倒の有無および衝撃吸収素材の振動に関する減衰性能の評価結果について述べる。

**キーワード：** 人間型ロボット, 着座シート, 衝撃解析, 加振試験

**目次：** 1. はじめに 3. ロボットダミーを用いた振動試験  
2. 衝撃解析 4. まとめ

## 1. はじめに

人間協調・共存型ロボットシステムの開発の中で2000年度より代行運転分野として、人間型ロボットを遠隔操作し、人に代わって産業車両を操作する研究を行っている。<sup>1)</sup>

着座姿勢で運転する産業車両として代表的な建設機械、バックホウに着座させることとしたが、現状の人間型ロボットHRP1S<sup>2)</sup>は、着座させて運転するように考慮されていないため、接触や衝撃によりカバー等が破損したり、衝撃・振動により内部電子機器類が損傷する可能性がある。そこで現在、HRP1Sを保護するために必要な着座シートを開発中である。

本報告では、採取したバックホウの掘削時の機体振動波形を入力としたコンピュータシミュレーションによる衝撃解析および3次元6自由度振動台によるロボットダミーの振動試験を基に、着座シートの振動吸収性能について述べる。

## 2. 衝撃解析

### 2.1 解析項目および内容

前報その1に行った衝撃解析<sup>3)</sup>では、ロボット臀部と着座シートの接触のみに注目していたが、本報その2は足裏部の接触条件を加味した。また着座シートの形状も、ロボット臀部の形状を考慮せず接触面が平面であるタイプA(図1)と、臀部をタイプAに押し付けてなじませた形状のタイプB(図2)との振動吸収性能の比較を行った。

より精密なシミュレーションを行うため、メッシュ分割数についてもこれまでの8倍とした。さらにシートベルトの有無によるロボットの変位についても解析した。

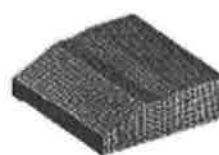


図1 着座シート(タイプA)



図2 着座シート(タイプB)

表1 モデルの節点数および要素数

モデル全体の節点数 (NODE)	シート緩衝材の要素数 (SOLID)	ベルト・バック材の要素数 (SHELL)	シートベルトの要素数 (BAR)
25,257	6,048	25,094	6

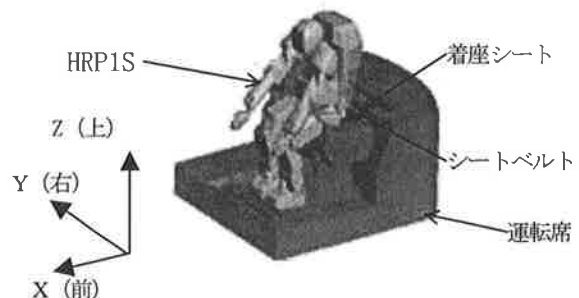


図3 着座運転モデル形状

## 2.2 モデルおよび振動波形

モデル全体の節点数, 着座シート, ロボットおよびバックホウ, シートベルトの要素数を表1に, 着座運転モデル形状を図3に示す。ロボットおよびバックホウ運転席はそれぞれ一つの剛体と仮定した。着座シートのモデルには, 2000年度に衝撃吸収能力を評価して選定したポリエチレンフォームの力学的特性を設定した。またロボットの位置ずれを防止する目的で一般的な自家用車用ナイロン製シートベルトを仮定した。入力に用いた振動波形は, バケット容量0.2m<sup>3</sup>クラスバックホウの掘削時のもの(前後・左右・上下方向の並進成分)である。

## 2.3 解析結果

バックホウの掘削時の振動により, ロボット重心点に働く加速度を図4に示す。接触面が平面のタイプAに比べて臀部の形状にならったタイプBの方が振動の加速度が小さく, 形状による加速度減衰の可能性が見出された。シミュレーションによる荷重分布<sup>4)</sup>から, タイプAでは臀部突起物による荷重の集中が起こるのに対し, タイプBでは均等に荷重が分散するためであると考えられる。また, シートベルトの有無によるロボット重心点の変位を図5に示す。シートベルトが水平方向に対して変位の減衰および特に前後方向の中立位置のずれ防止に効果があることがわかった。

## 3. ロボットダミーを用いた振動試験

### 3.1 試験項目および内容

質量および重心点位置が等価なロボットダミー(一つの剛体)を用い, 試作した着座シート(図6)を介して座席構造体に着座させた。これら全体を3次元6自由度振動台(仕様:表2)上に配置し(図7), 衝撃解析の入力波形と同じバックホウの振動波形を入力して加振した。波形はX, Y, Zの3軸, サンプリング1/200sec, 継続時間約5.4secである。また振動台の仕様から0.2Hz以下と40Hz以上の範囲以外の周波数成分を除去した。

まず試験体のロボットダミーが振動により転倒しないか目視により確認した。次に着座シートによる振動減衰の効果を確認した。なお, ロボット内部で最も振動対策が要求される部位をコンピュータのハードディスクと想定し, その振動許容値6.6m/s<sup>2</sup>(実効値)を考慮し, ダミー重心点においてこれ以下であることを目標とした。また, シートベルト等による座席への拘束はしなかった。

表2 振動台仕様

加振台寸法 (m)	4×4
定格積載質量 (kg)	30,000
加振方向	X, Y, Z 3次元6自由度
最大加速度 (m/s <sup>2</sup> )	±9.8 (X), ±9.8 (Y), ±17.6 (Z)
最大変位 (m)	±0.5 (X), ±0.2 (Y), ±0.1 (Z)
最大速度 (m/s)	±1.5 (X), ±1.0 (Y), ±0.99 (Z)
振動数 (Hz)	DC~30 (X), DC~50 (Y), DC~50 (Z)

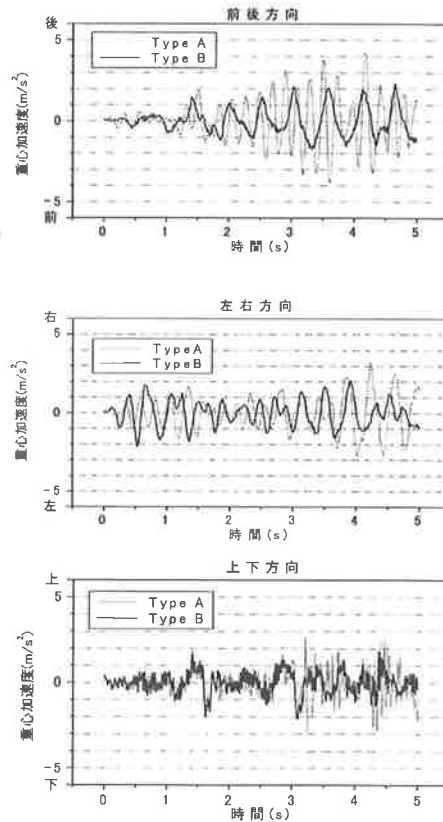


図4 着座シート形状と振動加速度

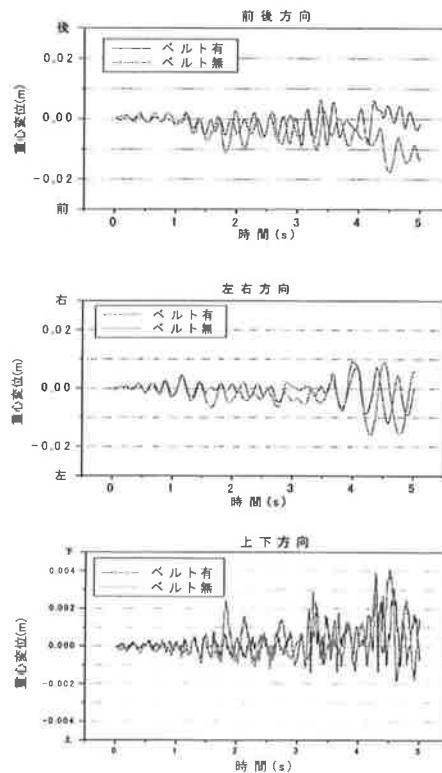


図5 シートベルト有無と振動変位

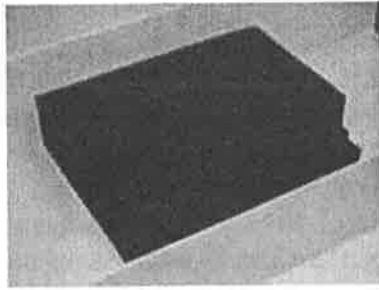


図6 着座シート



図7 加振試験状況

3.2 加振試験結果

振動台ベース部, 座席構造体上部, ロボットダミー重心点付近に設置した圧電型加速度計により, 計測した結果をそれぞれ図8, 図9, 図10に示す。

加振試験中にロボットダミーの転倒は発生しなかったが, 座席への拘束をしなかったため, 位置が加振終了後前方向に移動(約10mm)したことがわかった。これはコンピュータシミュレーション結果と一致した結果となった(図5)。

振動台ベース部に比べて座席構造体の前後方向(X方向)の振動加速度が大きい。これは座席構造体の剛性が低いと考えられる。次に座席構造体に比べてロボットダミー重心点の振動加速度は, 前後および左右は減衰しているものの, 上下方向(Z方向)についてはむしろ増幅している。実効値で  $6.6\text{m/s}^2$  以下に抑えられているが, Z方向に関しては本条件では振動減衰効果がないことがわかった。他の振動条件に対応し, ピーク値でも許容値を超えないことが望ましいことから, 今後振動吸収材料を併用して振動吸収を図る。

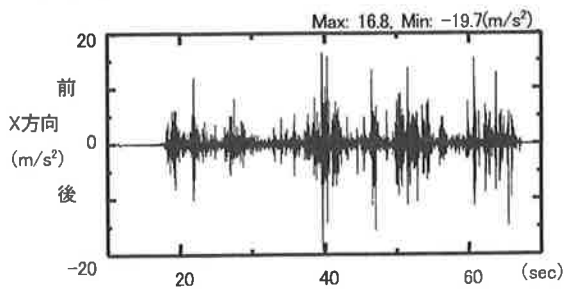


図8 振動台ベース部振動加速度(前後方向)

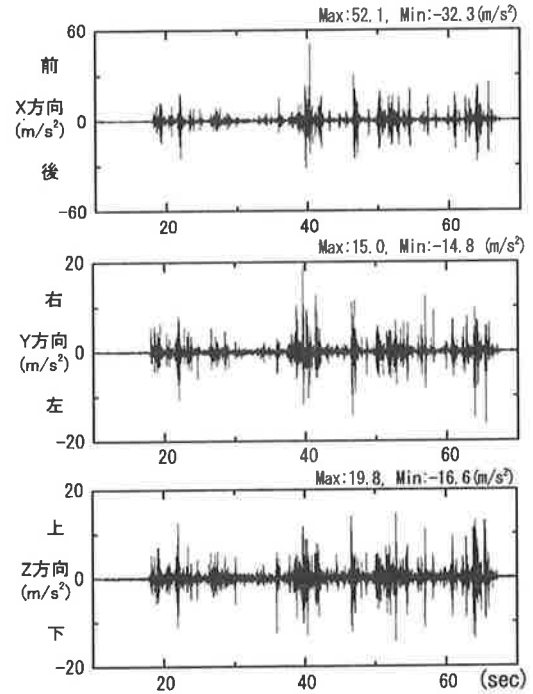


図9 座席構造体振動加速度

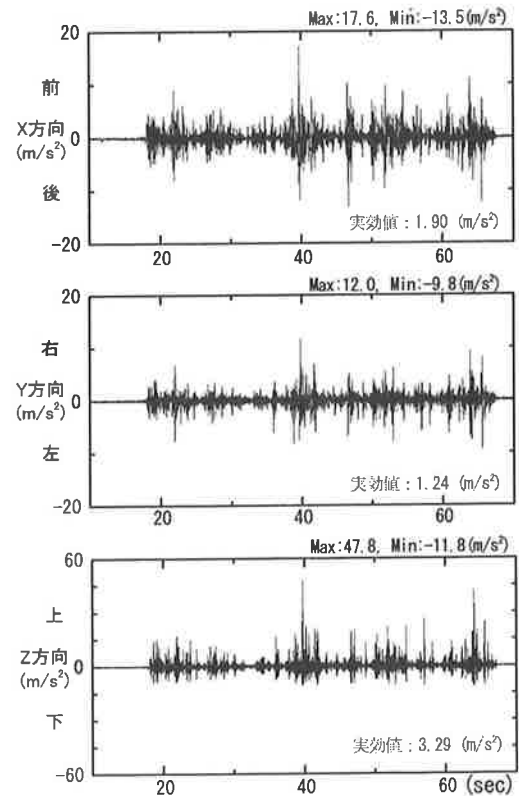


図10 ロボットダミー重心点振動加速度

#### 4. まとめ

人間型ロボットの着座用保護シートについて、コンピュータシミュレーションにより形状の違いによる振動加速度およびシートベルト有無による変位の変化について検証した。着座シートは、臀部の形状にならったタイプの方が振動吸収能力が高いことが判明した。またシートベルトを用いない場合、加振中に位置ずれを起すことがわかった。

ロボットダミーを製作し、着座シートを介して座席構造体に座らせ、これを振動台により加振する試験を行った。座席構造体の剛性が低いため、前後方向の振動が増幅した。

また着座シート素材（衝撃吸収材料）は、本振動条件においては鉛直方向に対し振動の減衰効果がないことがわかった。

2002年度には上記の結果に基づき、振動吸収材料を併用し、位置ずれ防止用の手段を備えた着座シートを製作する。これをバケット容量 0.1m<sup>3</sup> クラスのバックホウ運転席に設置し、実際のロボット HRP1S を搭乗させた状態で、振動台により加振試験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・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年10月
- 2) 横井一仁・金子健二・他4名：ヒューマノイドロボット（HRP1S）による歩行実験，第19回日本ロボット学会学術講演会予稿集，2001年10月
- 3) 柳原好孝・上野隆雄・石川雅美：HRP-ロボット保護技術に関する研究開発，東急建設技術研究所報 vol. 27，2001年9月
- 4) （財）製造科学技術センター：人間協調・共存型ロボットシステム研究開発（石油精製システム合理化研究開発），ppVI-16～VI-19，2002年3月

## Research and Development of Robot Protection Technology for "HRP" Vol.2

Takao UENO, Yoshitaka YANAGIHARA and Keigo KODAMA

"Research and development about the robot protection technology" is being carried out as one theme of "Humanoid Robot Project" entrusted by NEDO. This research aims at the development of the necessary protection technology which humanoid robot to make it board a sitting-posture operation type construction machine such as backhoe and to make it operate a construction machine by operating a robot as to the distance.

This time, terms of interference with the reverse side of robot feet and the backhoe floor were added newly to the shock analysis of the robot hips part carried out in the last year, and the seat, and the simulation that precision was enhanced was enforced. The result which a difference in the form of a seat and the vibration wave form due to the existence of the seat belt was compared with is mentioned. And, shaking test which shaking test table was used for was enforced to verify the vibration absorption performance of the shock absorption material which selected the hips part of the robot with a purpose of protecting it. The chosen material was attached to the dummy seat of the construction machine, and a robot dummy was made to sit down, and shake had it by using the vibration wave form collected from backhoe in the work.

It is evaluated about the possibility of the turnover of the robot dummy, and a result of evaluation of the vibration decline performance of the shock absorption material is mentioned more.