

HRP—ロボット保護技術に関する研究開発

— ロボット用保護具の衝撃解析 —

柳原 好孝* 上野 隆雄** 石川 雅美***

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「ロボット保護技術に関する研究開発」がある。

本報告では、衝撃吸収材料の調査結果から、ロボット保護具用緩衝材の候補を複数選定し、落下試験機による衝撃荷重試験を実施し、性能比較評価を行った結果について述べる。

また、保護方法、ロボットの仕様から、接触・転倒に対する保護具に求められる仕様の設定を行った。さらに従来保護技術の調査結果などと合わせて、ロボット保護の程度、保護具の材料、構造等を検討し、基本設計を実施した。

キーワード： ヒューマノイドロボット, 保護具

- 目次：**
- | | |
|-------------------|--------------------|
| 1. はじめに | 4. 衝撃荷重試験 |
| 2. 保護具の概要 | 5. 作業機械とロボットとの衝撃解析 |
| 3. 運転中の作業機械の加速度計測 | 6. おわりに |

1. はじめに

平成12年度から始まった「人間協調・共存型ロボットシステムの応用研究開発（HRP）」において、建設・運搬サービス分野における産業車両の代行運転をテーマとした研究開発を実施中である。そのなかで、ロボットプラットフォーム（以下単にロボットと呼ぶ）が着座姿勢で作業機械を運転する場合、作業機械の振動や遠隔運転中のヒューマンエラーによるロボットと作業機械の接触・衝突から、ロボットを保護する技術開発を当社が担当し、実施することとなった¹⁾。

本報告では衝撃吸収材料の調査結果から、ロボット保護具用の緩衝材の候補を複数選定し、落下試験機による

衝撃荷重試験を実施し、性能比較評価を行った結果について述べる。また、ロボットと作業機械シート部との接触、および、遠隔操縦時のヒューマンエラーによる腕部と操作レバーとの衝突に関する衝撃解析と、設定した保護の程度について述べる。

2. 保護具の概要

提供されるロボットの現状での保護方法は、歩行および遠隔操作による作業中の転倒防止を目的としたクレーンによるもののみである。その他、接触・転倒に対するロボット用エアバック等について考案されているが実用化には至っていない。

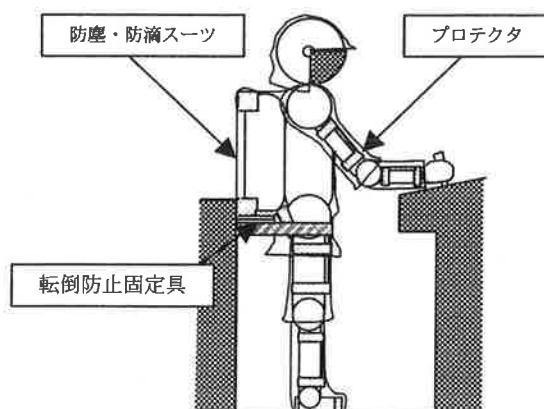


図1 立ち姿勢操縦時保護具イメージ

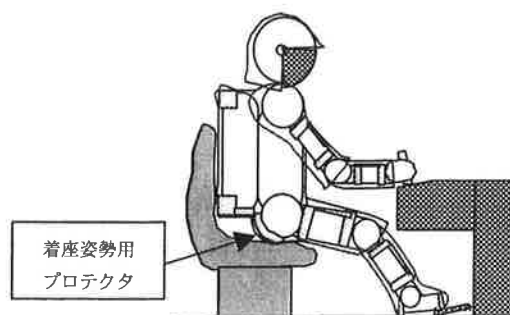


図2 着座姿勢操縦時保護具イメージ

そこで、本研究開発では、人間用として使用されている保護具の単なる改良ではなく、例えば振動や水濡れに弱いといった、ロボット特有の弱点を保護することのできる仕様を満たす保護方法として次のようなものを計画した。

まず、第一に産業車両等代行運転中に接触する危険性のあるロボットの部位への緩衝材（緩衝機能を有するもの全般を含む）の付加を行う。緩衝材の付加方法は、人間用として使用されている保護具（例えばヘルメット、ニーパッド、ゴーグルなど）の単なる改良ではなくロボット特有の保護仕様を満たす保護方法とする。

また、人間が産業車両等を運転するとき使用する安全ベルトに匹敵するロボット用の固定治具を搭載することで、運転操作中の転倒を防止する。

なお、提供されるロボットは、運転シートへの着座に対する保護がないため、ロボット大腿部と運転シートとの接触負荷低減を目的としたロボットへの保護具装着を含めたシートの開発を行う。

次に、実作業環境下における作業で最低限必要とされる防塵・防雨性能に関しては、従来の人間向けの保護具では考慮されていないロボットのサイズ、可動範囲、発熱箇所等を考慮したロボット専用の着用型の保護具を開発する。

3. 運転中の作業機械の加速度計測

運転中の作業機械に発生する加速度波形を採取し、運転中のロボットの挙動を調査した。市場で多く見られるバケット容量 0.2m³ クラスのバックホウに人間が乗って実際の造成現場において掘削作業を行い、作業機械に設置した加速度計により計測した。計測の状況を写真1に、また計測結果例を図3に示す。

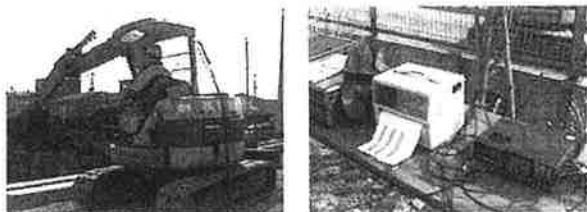


写真1 作業機械発生加速度計測状況

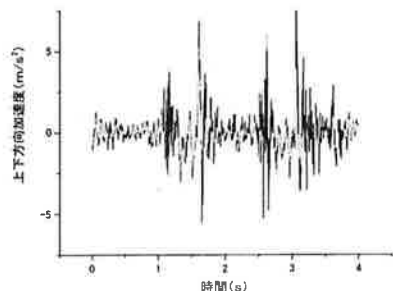


図3 作業機械発生加速度計測結果例
(Z軸：上下方向)

採取した波形は衝撃解析を行う際の入力波形として使用した。

4. 衝撃荷重試験

下腕および座席部に緩衝材として適用の可能性のある衝撃吸収材料を選定するため、事前に調査した従来衝撃吸収材料に対して JIS Z0235 に基づく衝撃荷重試験を実施し、衝撃吸収性能等を調査・比較した。試験機の仕様を表1に、試験状況を写真2に、試験項目および結果を表2に示す。

表1 衝撃荷重試験機仕様

種類	形式等	備考
試験機本体	ASCT-200	錘最大落下高さ：1.2m 実験時：0.2m, 0.1m, 0.05m
解析機	SM-400	加速度ピックアップ用チャージアンプ、データ収集および解析ソフト付（今回は最大加速度-静的応力線図、応力-歪線図を出力）

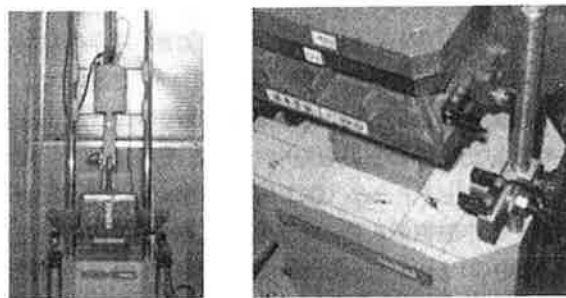


写真2 衝撃荷重試験状況

表2 衝撃荷重試験結果（錘落下高さ 0.2m）

材料名称	落下高さ (m)	素材面積 (m ²)	質量 (kg)	静的応力 (MPa)	厚さ (m)	最大加速度 (m/s ²)
サンテック I5	0.2	0.01	21.9	0.0215	0.022	488.5
サンベルカ SA-3(赤)	0.2	0.01	10.9	0.0107	0.041	431.5
	0.2	0.01	21.9	0.0215	0.041	231.1
	0.2	0.01	32.9	0.0323	0.041	177.2
	0.2	0.01	10.9	0.0107	0.020	475.6
	0.2	0.01	21.9	0.0215	0.020	305.9
	0.2	0.01	32.9	0.0323	0.021	317.5
エペラン PP30	0.2	0.01	21.9	0.0215	0.041	179.0
メフ I0	0.2	0.01	21.9	0.0215	0.027	319.9

ロボットの許容衝撃加速度を高級電子機器類の値（196 m/s²）と同等と仮定すると、0.2m 落下高さにおいて最大加速度が 196m/s² 以下、かつ落下回数増加による性能劣化が 5%未満（衝撃加速度の増加）のものを条件に選定した場合、ポリエチレンフォーム（サンベルカ SA-3）のみであることがわかった。これを衝撃解析に使用する試料として採用した。

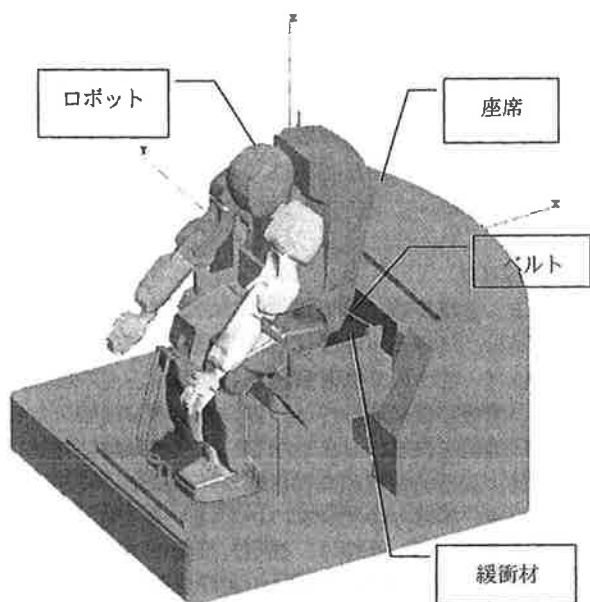


図4 着座運転時シミュレーション



図5 座席用緩衝材のメッシュ分割

5. 作業機械とロボットの衝撃解析

5.1 着座運転中のロボット臀部と座席との衝撃解析

着座姿勢運転時の衝撃シミュレーションの形状データ（ロボットと掘削機の座席）を図4に、座席に設置する緩衝材のメッシュを図5に示す。

今回は、このモデルに特定した衝撃吸収材の板厚0.041m、面積0.01m²、錘質量32.9kg、落下高さ0.2m（衝突速度1.98m/s）の衝撃荷重試験で得た結果に相当する物性値を与え、解析を行った。

図6に応力-ひずみ線図を示す。

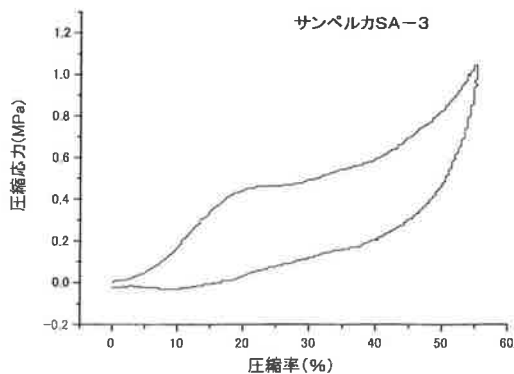


図6 サンベルカ SA-3 応力-ひずみ線図

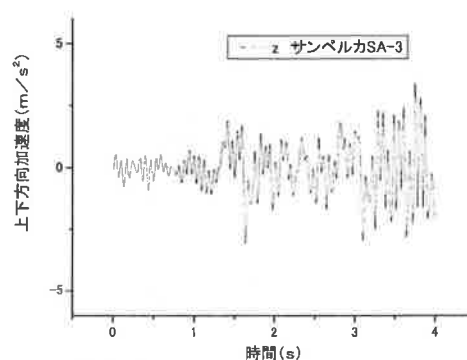


図7 バックホウの掘削中の上下方向加速度（緩衝材有り）

解析の結果、ロボット重心点の着座時の加速度は、図7に示すように、上下方向の加速度で、入力波形（図3）に対し、設定した許容加速度を下回ると共に最大加速度を2m/s²程度減衰させる結果を得ることができた。

5.2 着座運転中のロボット下腕部と操作レバーとの衝撃解析

下腕部とレバーの間の緩衝材を弾性フォーム Solid 要素（サンベルカ SA-3）で定義した。

物性値は、板厚0.0052m（5mm）、面積0.01m²、錘43.9kg、錘落下高さ0.1m（衝突速度1.4m/s）の衝撃荷重試験で得た結果に相当する物性値を与えた。

図8に解析で使用した衝突部位である下腕および緩衝材のメッシュを示す。

解析の結果、緩衝材なしと、緩衝材有りに関わらず、衝突エネルギーが大きいため、図9に示すように接触荷重はいずれも最大約500Nとなり、下腕カバーは大きく変形する結果を得た（図10）。

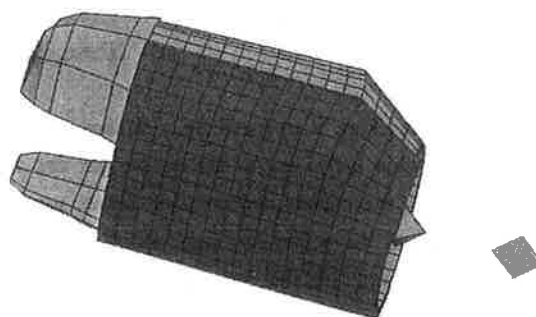


図8 下腕部および緩衝材のメッシュ分割

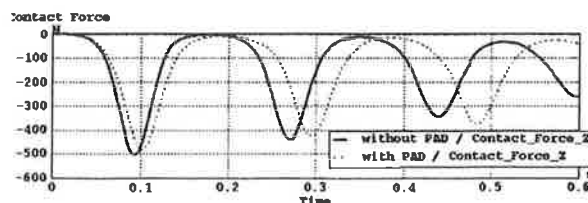


図9 下腕部接触荷重履歴

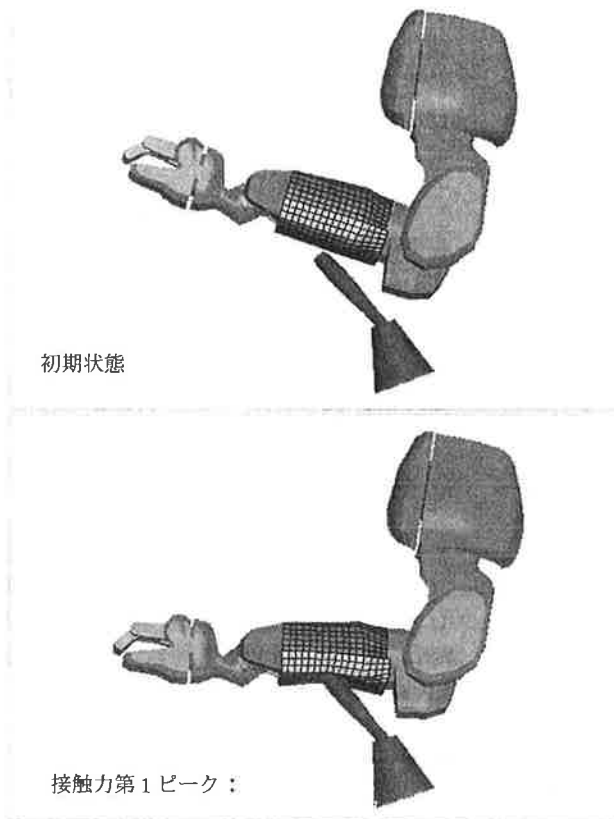


図10 下腕カバーの変形状況例

したがって、緩衝材を下腕カバーに装着したとしても下腕の発生トルクが加わった場合には損傷すると考えられる。損傷を防止するには、緩衝材の外側にさらに金属板等を付加して荷重を分散させることや、接触応力発生時にオペレータに対し音等による警告を行うなどの対策が必要である。

6. おわりに

今回、衝撃荷重試験で要求仕様を満たした衝撃吸収材料に対し、ロボットの臀部と作業機械の座席、下腕部と操作レバーについて衝撃解析を実施した。その結果、着座での衝撃吸収に関しては、許容の衝撃加速度を大きく下回る結果を得た。しかしながら、機械振動に関しては緩衝材による加速度の大幅な減衰には至っていない。また、下腕の機器との衝突については、複合的な材料の開発が必要である。今後は、衝突、振動の両面からさらに衝撃吸収特性の優れた保護材の開発を進める予定である。

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) 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

Research and Development of the Protector for a Humanoid Robot

Y.Yanagihara T.Ueno, M.Ishikawa

When a driving machine is operated by a humanoid robot, the machine vibration causes the contact with a robot and the collision with operation lever, and it has the danger that a robot is damaged. A robot protector is being researched and developed. At first, the contact and collision points were specified, and the method of the protection was examined. Next, the candidate of the buffer materials which has the shock absorption performance which is necessary was selected by the shock load examination. At the end, an impact analysis was verified the effect of the protection based on those results.